Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

CB

collection
ENVIROGUIDE

LE CHLORE

Canada

juillet 1984

85-1695/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE CHLORE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
JUILLET 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Chlorine
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. En 48-10/6-1984F
ISBN 0-662-92602-1
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Définitions	X
	Sigles	XI
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	3
3	**Production, transport et commerce**	9
3.1	Teneur du produit	9
3.2	Fabricants situés au Canada	9
3.3	Volume de production	9
3.4	Itinéraires utilisés pour le transport	10
3.5	Fabrication industrielle	10
3.5.1	Information générale	10
3.5.2	Procédé de fabrication	10
3.6	Principales utilisations au Canada	10
3.7	Principaux acheteurs au Canada	11
4	**Manutention du produit et compatibilité**	12
4.1	Citernes et autres récipients de transport	12
4.1.1	Information générale	12
4.1.2	Bouteilles à gaz	12
4.1.3	Cylindres d'une tonne	12
4.1.4	Wagons-citernes	15
4.1.5	Wagons porte-cylindres	19
4.1.6	Véhicules-citernes routiers	19
4.2	Déchargement	19
4.2.1	Matériel et procédés de déchargement pour les bouteilles et les cylindres d'une tonne	19
4.2.2	Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers	20
4.2.3	Spécifications et matériaux du matériel de déchargement	20
4.3	Matériel et procédés pour un déchargement d'urgence	22
4.4	Compatibilité entre le produit et différents matériaux	22
5	**Fuite et migration du produit**	27
5.1	Aperçu général	27
5.2	Fuite du produit	28
5.2.1	Introduction	28
5.2.2	Nomogrammes relatifs aux fuites	29
5.2.2.1	Perforation dans le bas; fuite de liquide	29
5.2.2.2	Perforation sur le dessus; fuite de gaz	29
5.2.3	Exemples de calcul	29
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	32
5.3.1	Introduction	32
5.3.2	Nomogrammes de diffusion de la bouffée de vapeurs	32
5.3.2.1	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	34
5.3.2.2	Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse	34
5.3.2.3	Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé	39
5.3.3	Exemple de calcul	39
5.4	Comportement dans l'eau	41

5.4.1	Introduction	41
5.4.2	Nomogrammes de diffusion du polluant dans l'eau	43
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	45
5.4.2.2	Diffusion dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)	45
5.4.3	Exemples de calcul	45
5.4.3.1	Teneur en polluant dans un cours d'eau non soumis aux marées	45
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)	54
5.5	Comportement dans la subsurface	54
6	**Protection de l'environnement**	**55**
6.1	Limites maximales admissibles	55
6.1.1	Qualité de l'eau	55
6.1.1.1	Situation au Canada	55
6.1.1.2	Situation ailleurs dans le monde	55
6.1.2	Qualité de l'air	55
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	55
6.2.1	Evaluation de la toxicité aux U.S.A.	55
6.2.2	Mesure de la toxicité	55
6.2.2.1	Toxicité en eau douce	57
6.2.2.2	Toxicité en eau salée	58
6.2.3	Etudes sur le milieu aquatique	58
6.2.3.1	Eau douce	58
6.2.3.2	Eau salée	59
6.3	Toxicité pour d'autres espèces vivantes	59
6.3.1	Toxicité pour les mammifères	59
6.3.2	Toxicité pour les végétaux	59
6.4	Etudes sur les effets toxiques	59
6.5	Dégradation du polluant	59
6.5.1	Dégradation chimique	60
6.5.2	Demande biologique en oxygène	60
6.6	Devenir du polluant et effets à long terme	**61**
7	**Protection de la santé**	61
7.1	Normes d'exposition recommandées	61
7.2	Données sur les propriétés irritantes	61
7.2.1	Contact avec la peau	62
7.2.2	Contact avec les yeux	62
7.3	Seuil de perception des caractères organoleptiques	62
7.3.1	Odeur	62
7.3.2	Goût	62
7.4	Etudes à long terme	62
7.4.1	Inhalation	66
7.4.2	Ingestion	67
7.4.3	Mutagénicité et carcinogénicité	67
7.5	Symptômes d'exposition et d'intoxication	67
7.5.1	Inhalation	67
7.5.2	Ingestion	68
7.5.3	Contact avec la peau	68
7.5.4	Contact avec les yeux	68
7.6	Toxicité des produits de décomposition ou de combustion, pour l'homme	68
7.6.1	Chlorure d'hydrogène	**69**
8	**Compatibilité chimique**	69
8.1	Compatibilité entre le chlore et divers produits chimiques	**76**
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	76
9.1	Mesures recommandées	76
9.1.1	Risques d'incendie	77
9.1.2	Moyens d'extinction	

9.1.3	Évacuation de la zone dangereuse	76
9.1.4	Mesures d'intervention en cas de déversements	77
9.1.4.1	Information générale	77
9.1.4.2	Déversements sur le sol	78
9.1.5	Nettoyage et traitement	78
9.1.5.1	Déversements dans l'eau	78
9.1.5.2	Information générale	78
9.1.6	Élimination du polluant	78
9.1.7	Appareils et vêtements de protection	78
9.1.8	Précautions spéciales	80
9.2	Équipement et produits spécialisés d'intervention	80
10	**Cas de déversements accidentels**	**81**
10.1	Fuite d'un wagon-citerne	81
10.2	Fuite d'un cylindre d'une tonne	81
11	**Identification et dosage du polluant**	**83**
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)	83
11.1.1	Colorimétrie	83
11.2	Identification du polluant dans l'air (analyse qualitative)	83
11.3	Dosage du polluant dans l'eau (analyses quantitatives)	83
11.3.1	Titrage iodométrique	84
11.3.2	Titrage amidon-iodure	84
11.3.3	Titrage ampérométrique	84
11.4	Identification du polluant dans l'eau (analyse qualitative)	84
11.5	Dosage du polluant présent dans le sous-sol (analyses quantitatives)	85
11.5.1	Titrage au nitrate d'argent	85
11.5.2	Titrage iodométrique	85
11.6	Identification du polluant dans le sol (analyse qualitative)	85
12	**Références et bibliographie**	**86**
12.1	Références	86
12.2	Bibliographie	94

LISTE DES FIGURES

1	Tension de vapeur en fonction de la température	6
2	Masse volumique en fonction de la température	6
3	Viscosité du liquide en fonction de la température	7
4	Viscosité des vapeurs en fonction de la température	7
5	Miscibilité du chlore et de l'eau en fonction de la température	8
6	Diagramme de phase	8
7	Bouteilles à gaz	13
8	Cylindre d'une tonne	14
9	Wagon-citerne de classe 105A500W	17
10	Déchargement du wagon-citerne	18
11	Wagon-citerne perforé dans le bas ou sur le dessus	28
12	Pourcentage de liquide restant/temps d'écoulement	30
13	Débit de fuite/diamètre de l'orifice	30
14	Pourcentage de chlore restant/temps d'émission	31
15	Débit de fuite/diamètre de l'orifice	31
16	Formation d'une bouffée de vapeurs	33
17	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	35
18	Teneur uniformisée en fonction de la distance sous le vent	36
19	Conversion en g/m^3 de la TLV®	37
20	Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé	40
21	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable	42
22	Zone dangereuse maximale sous un vent variable	42
23	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant dans un cours d'eau non soumis aux marées	44
24	Distance en fonction du temps	46
25	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	47
26	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	48
27	Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente	49
28	Delta en fonction de alpha	50
29	Teneur maximale en fonction de delta	51
30	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	52
31	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	53

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de conversion	5
2	Spécifications CCT/DOT relatives aux bouteilles à chlore	15
3	Spécifications CCT/DOT relatives aux cylindres d'une tonne	15
4	Spécifications CCT/DOT relatives aux wagons-citernes	15
5	Spécifications relatives aux wagons-citernes	16
6	Spécifications CCT/DOT relatives aux semi-remorques-citernes	19
7	Compatibilité entre le chlore et certains matériaux de fabrication	23
8	Abréviations de noms de matériaux de fabrication	26
9	Conditions météorologiques (catégories de stabilité)	34
10	Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse	38

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
m_e	Masse émise
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.	Teneur toxique minimale

u	Vitesse du vent	^{o}Bé	Degré Baumé
μ	Viscosité	^{o}C	Degré Celsius
vap	Vapeur	ϕ	Diamètre
vol.	Volume	x	Distance sous le vent
V	Vitesse d'écoulement	W	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction
V biod.	Vitesse de biodégradation		
V évap.	Vitesse d'évaporation		

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). – Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

Le chlore, représenté par Cl_2, est un corps gazeux dans les conditions normales. De couleur jaune verdâtre, il dégage une odeur âcre suffocante, semblable à celle de l'eau de Javel.

Appellation anglaise
Chlorine

N^os^ d'identification
UN 1017; CAS 7782-50-5; OHM-TADS 7216637; STCC 4904120.

Teneur
99,5 à 100 p. 100.

Dangers immédiats
Incendie. – Le chlore est non combustible. Il se combine à l'eau ou à la vapeur d'eau pour former des vapeurs d'acide chlorhydrique (HCl) toxiques et corrosives. Il entretient la combustion.
Effet sur l'homme. – Le chlore est très toxique, quelle que soit la voie de pénétration dans l'organisme.
Effet sur l'environnement. – Le chlore est très toxique pour la vie aquatique. Il est nocif pour certaines espèces vivantes du milieu aquatique à des teneurs aussi faibles que 0,1 mg/l. Le chlore gazeux est très toxique pour les plantes et les animaux.

Données relatives aux propriétés physiques

État (15 °C; 1 atm)	Gazeux
État à l'expédition	Liquéfié
Point d'ébullition	-34,6 °C
Point de fusion	-100,98 °C
Inflammabilité	Non combustible
Tension de vapeur	759,1 kPa à 25 °C; 589,2 kPa à 21 °C
Densité relative (eau = 1)	1,41 à 20 °C
Masse volumique (Cl liquéfié)	1,46 kg/l à 0 °C
Masse volumique (gaz sec)	3,21 g/l dans des conditions normales
Solubilité (dans l'eau)	0,73 g/100 ml à 20 °C
Comportement (dans l'eau)	Liquide, il coule au fond et bouille, formant des hydrates de chlore ($Cl_2 \cdot H_2O$) et une solution corrosive (HCl et Cl_2 dissous dans l'eau)
Comportement (dans l'air)	Tend à s'étaler au ras du sol
Seuil olfactif	0,3 à 5 ppm
Densité relative des vapeurs (air = 1)	2,48 (gaz sec, conditions normales)

Dangers pour l'environnement
Le chlore est très toxique pour toutes les formes de vie aquatique. Cependant, il ne se bioconcentre pas.

Dangers pour l'homme
Teneur maximale admissible établie par l'ACGH (TLV®): 1 ppm (3 mg/m^3).
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH): 25 ppm.
Effet en cas d'inhalation. – Vive irritation des voies respiratoires après seulement quelques minutes.

Effets en cas de contact. – Irritation locale, brûlures graves, formation d'ampoules, destruction de tissus. Si les yeux sont atteints par le liquide ou les vapeurs, il y a immédiatement irritation brûlante, larmoiement et parfois perte de la vue.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: «Corrosif; toxique». Alerter le service d'incendie et prévenir le fabricant. Arrêter la fuite ou l'écoulement et confiner le liquide déversé si cela ne présente aucun risque. Éviter tout contact avec le liquide et les vapeurs; se tenir du côté exposé au vent, par rapport à la zone du sinistre. Les vapeurs tendent à se concentrer dans les endroits les plus bas. Il faut éviter que des eaux polluées n'atteignent un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Le chlore, bien que non combustible, entretient la combustion. À courte distance, utiliser de la mousse, de la poudre sèche ou de la neige carbonique. Revêtir une combinaison entièrement étanche aux produits chimiques, munie d'un appareil respiratoire autonome. Refroidir les récipients menacés par les flammes avec de l'eau pulvérisée. Se tenir à l'écart des extrémités des citernes. Ne pas projeter d'eau directement sur l'endroit où il y a fuite ni à l'intérieur d'un récipient. Dans certains cas, la seule façon d'éteindre le feu consiste à arrêter la fuite du gaz.

Mesures d'intervention d'urgence

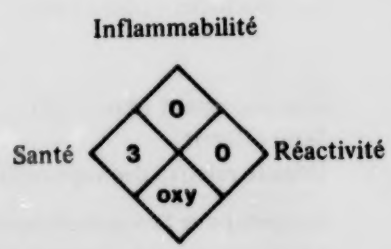
• Chlore déversé sur le sol ou dans l'eau. – Construire des barrages pour confiner le liquide ou le dériver vers des surfaces imperméables. Il existe des mousses spéciales pouvant servir à atténuer la vaporisation, ainsi que des trousses spéciales de matériel requis pour boucher une fuite dans la paroi d'un récipient. Ne pas répandre d'eau sur le récipient qui fuit ni sur le liquide déversé. Neutraliser le liquide déversé.

• Chlore sous forme de vapeurs. – Utiliser de l'eau pulvérisée pour rabattre et disperser les vapeurs. Recueillir l'eau de ruissellement afin de procéder plus tard à son épuration ou à son élimination.

Niveau de gravité du risque selon la NAS (étatsunienne)

(Catégorie)	(Niveau)
Incendie	0
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	4
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	2
Intoxications	4
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	2
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité	
Autres produits chimiques	4
Eau	1
Réaction spontanée	0

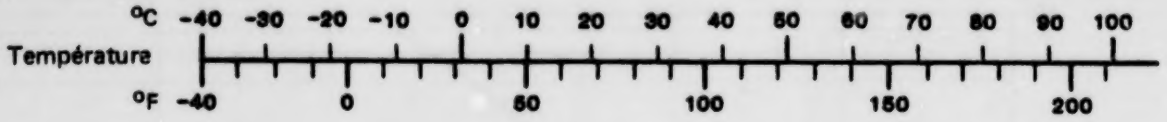
Évaluation du risque selon la NFPA (étatsunienne)



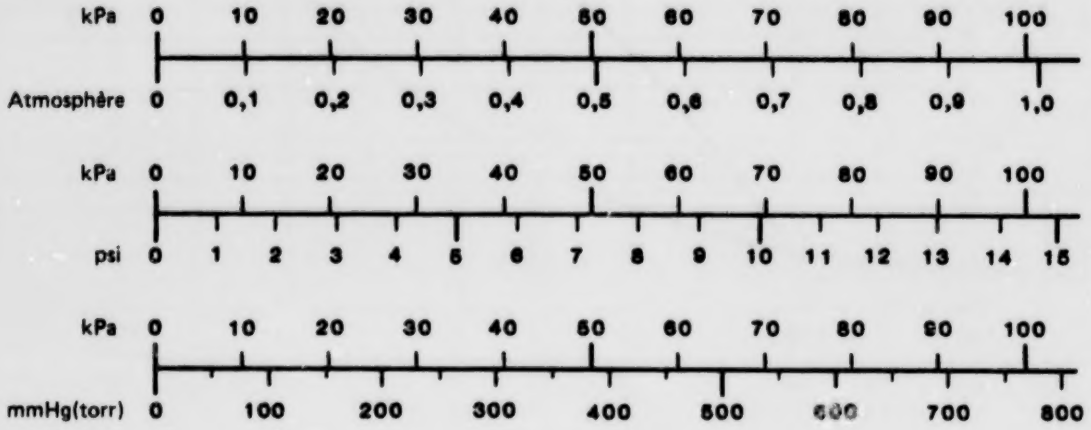
2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Propriétés physiques	
Aspect	Gaz jaune-verdâtre; liquide ambre clair (CIL, TSB)
État à l'expédition	Liquide (gaz comprimé et liquéfié) (HCG, 1981)
État physique (15 °C; 1 atm)	Gaz
Point de fusion	-100,98 °C (Dow CH, 1966)
Point d'ébullition	-34,6 °C (CRC, 1980)
Tension de vapeur	759,1 kPa (25 °C) (Chem. Eng., 1974) 589,2 kPa (21 °C) (HCG, 1981)
Masse volumique et densité	
Masse volumique (liquide)	1468,4 g/l (0 °C) (Kapoor, 1957)
(gaz saturé)	12,07 g/l (0 °C, 3,66 x 10^5 Pa) (CM, 1976)
Densité relative du liquide	1,468 (0 °C) (HCG, 1981)
Masse volumique (gaz)	3,209 g/l (conditions normales, gaz sec) (Kapoor, 1957)
Densité relative du gaz	2,482 (0 °C) (gaz sec) (Meinhardt, 1981)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Non combustible dans l'air (NFPA, 1978). Entretient la combustion de certaines substances (HCG, 1981).
Comportement dans le feu	Entretient la combustion de certaines substances (HCG, 1981)
Autres propriétés	
Masse moléculaire de la substance pure	70,906 (CRC, 1980)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	$\geqslant$ 99,5 p. 100 Cl_2 $\leqslant$ 0,5 p. 100 d'impuretés gazeuses, liquides ou solides (Hooker, PIM)
Résistivité	$> 10^{16}$ ohm · m (70 °C) (MCA, 1970)
Indice de réfraction	1,000768 (gaz) (CRC, 1980) 1,367 (liquide) (CRC, 1980)
Viscosité	0,014 mPa · s (gaz à 20 °C) (Dow CH, 1966) 0,35 mPa · s (liquide à 20 °C) (Dow CH, 1966)
Tension superficielle du liquide avec l'air	25,4 mN/m (liquide à -29 °C) (CRC, 1980)
Chaleur latente de fusion	90,39 kJ/kg (-100,98 °C) (HCG, 1981)
Chaleur latente de sublimation	382,8 J/g (à 25 °C) (Perry, 1973)
Chaleur latente de vaporisation	287,8 kJ/kg (à -34,05 °C) (HCG, 1981)
Potentiel d'ionisation	11,48 eV (Rosenstock, 1977)
Capacité thermique massique	
à pression constante	0,473 kJ/kg · °C (HCG, 1981)
à volume constant	0,348 kJ/kg · °C (HCG, 1981)
Pression constante/volume constant	1,355 (CM, 1976)
Pression critique	7711,1 kPa (HCG, 1981)
Température critique	144 °C (Dow CH, 1966)
Coefficient de dilatation thermique (0 à 100 °C)	3,8 x 10^{-3}/°C (Perry, 1973)

Conductivité thermique	8,82 x 10^{-3} watt/mK (27 °C) (CRC, 1983)
Teneur de saturation (calculée)	882,3 g/m^3 (-7 °C) (CRC, 1980)
Diffusivité	1,44 x 10^{-5} cm^2/s (dans l'eau à 25 °C) (Perry, 1973)
Relation volumique liquide - gaz	457,6 (conditions normales) (CM, 1976)
Solubilité dans l'eau	0,73 g/100 g (20 °C) (Dow MSDS, 1979)
Facteur de conversion pour les vapeurs	1 ppm = 2,951 mg/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1977)



Pression 1 kPa = 1 000 Pa



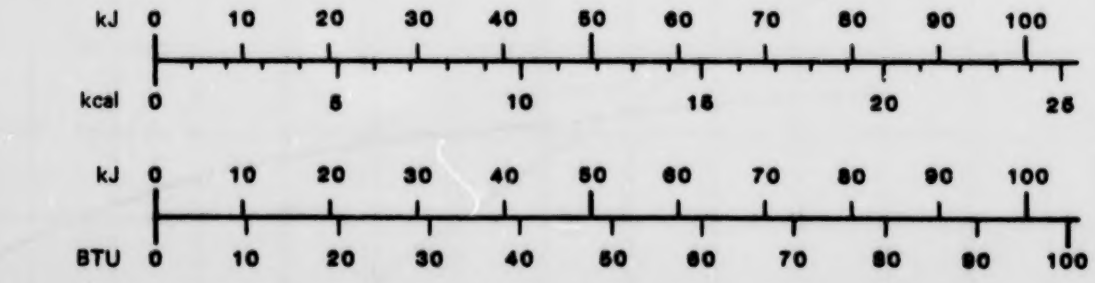
Viscosité

Dynamique 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1 000 J



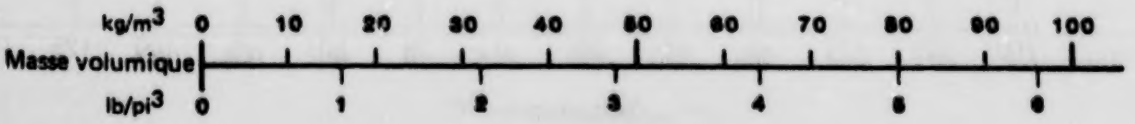


Figure 1

CHLORE

TENSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

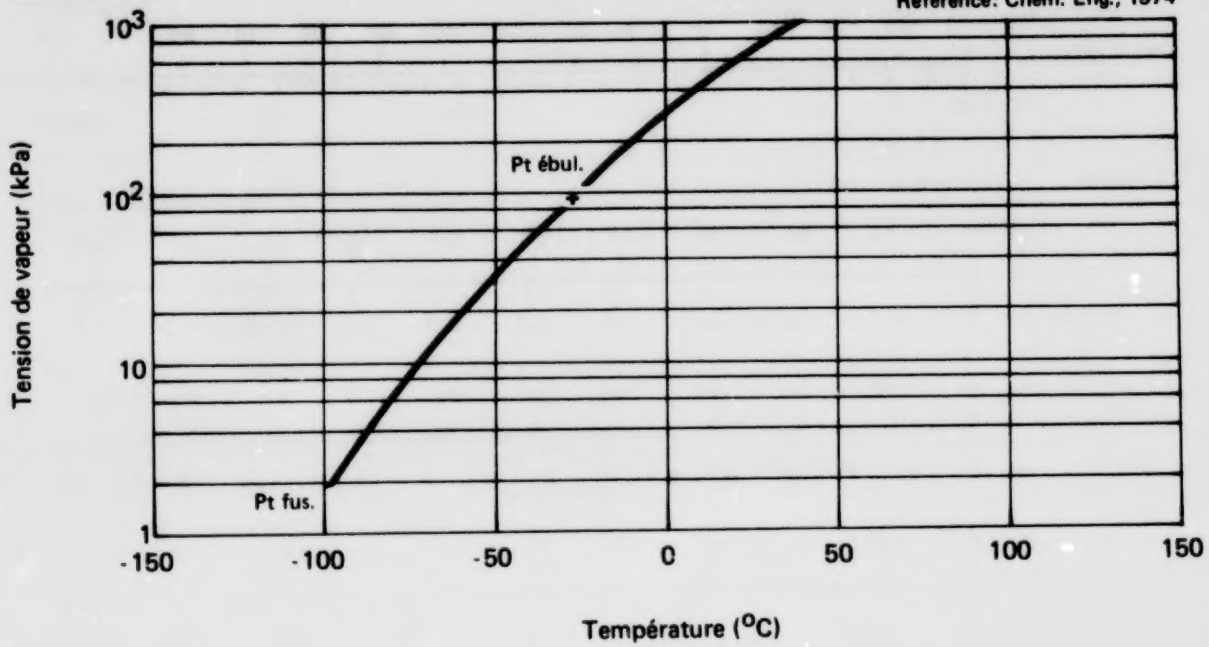


Figure 2

CHLORE

MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

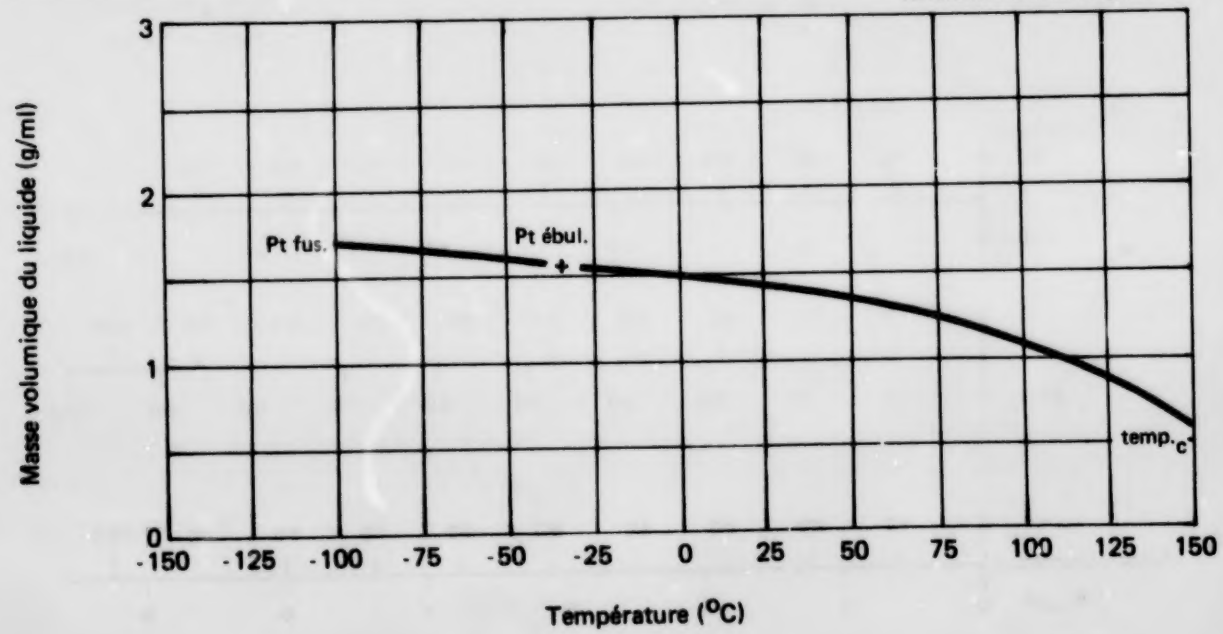


Figure 3

CHLORE

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

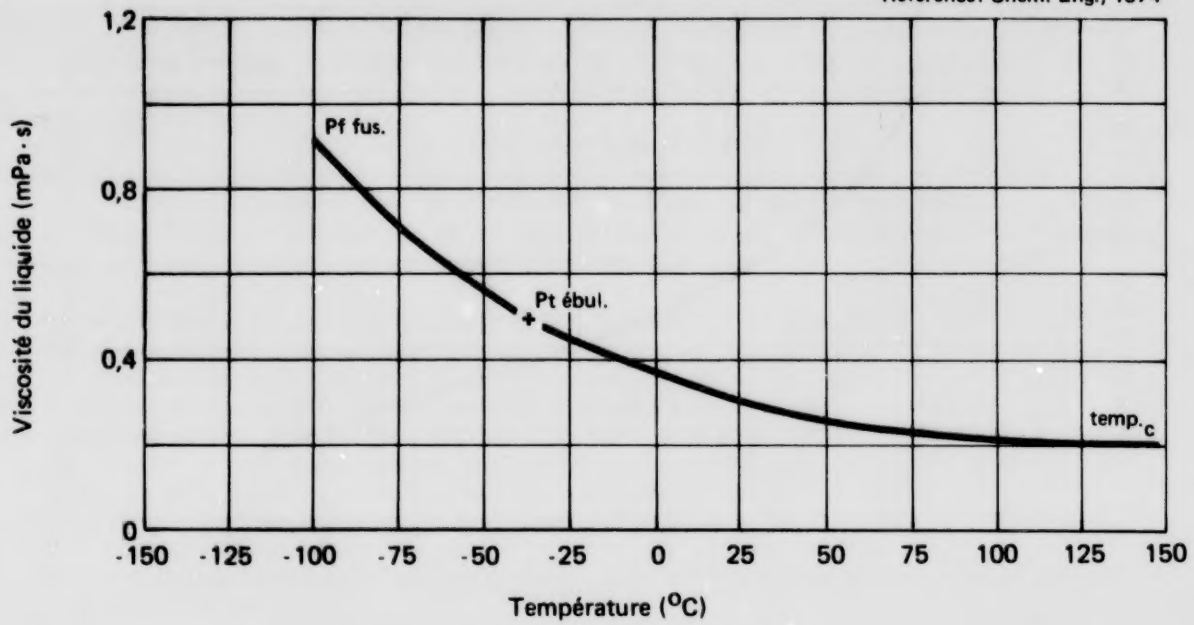


Figure 4

CHLORE

VISCOSITÉ DES VAPEURS EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

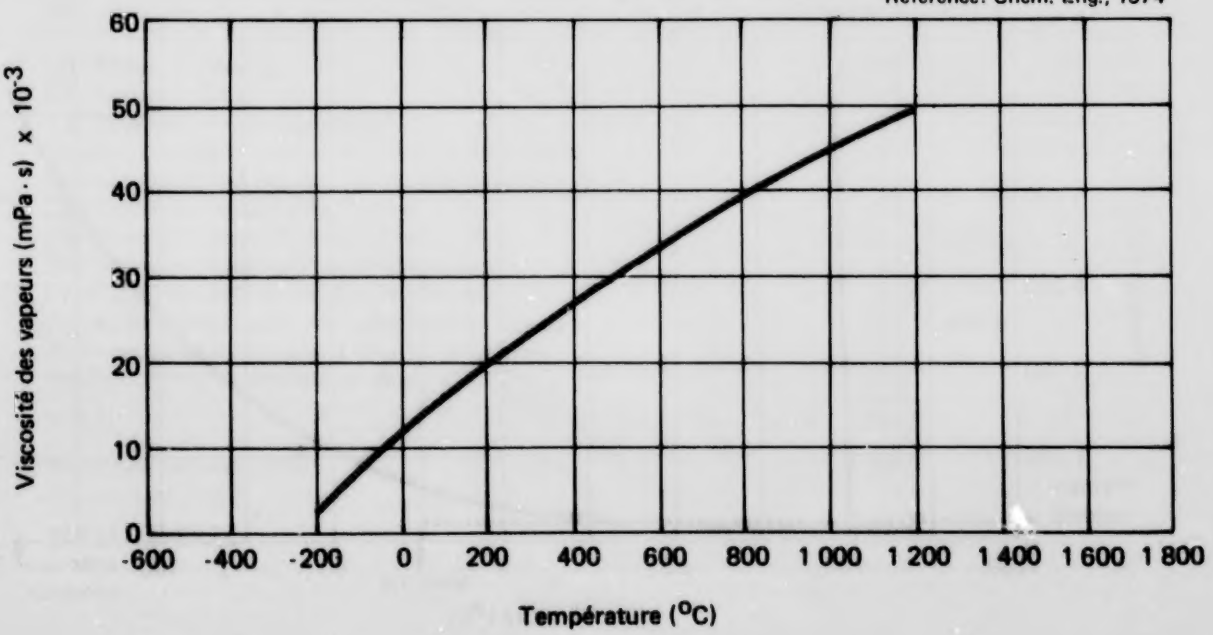


Figure 5

CHLORE

MISCIBILITÉ DU CHLORE ET DE L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Dow CH

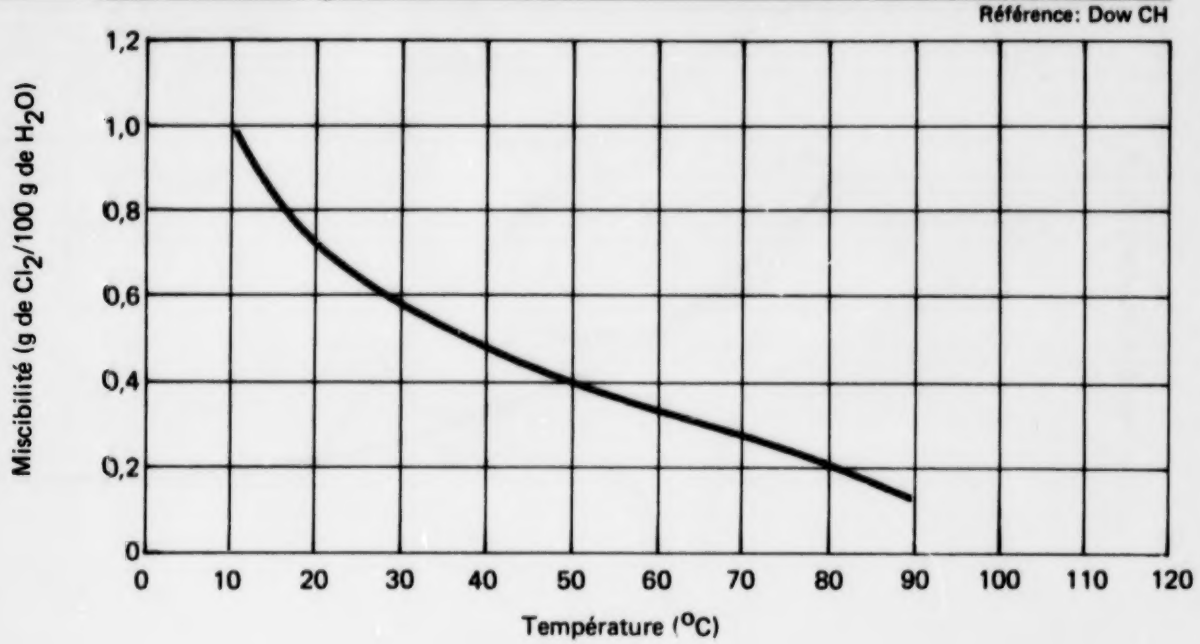
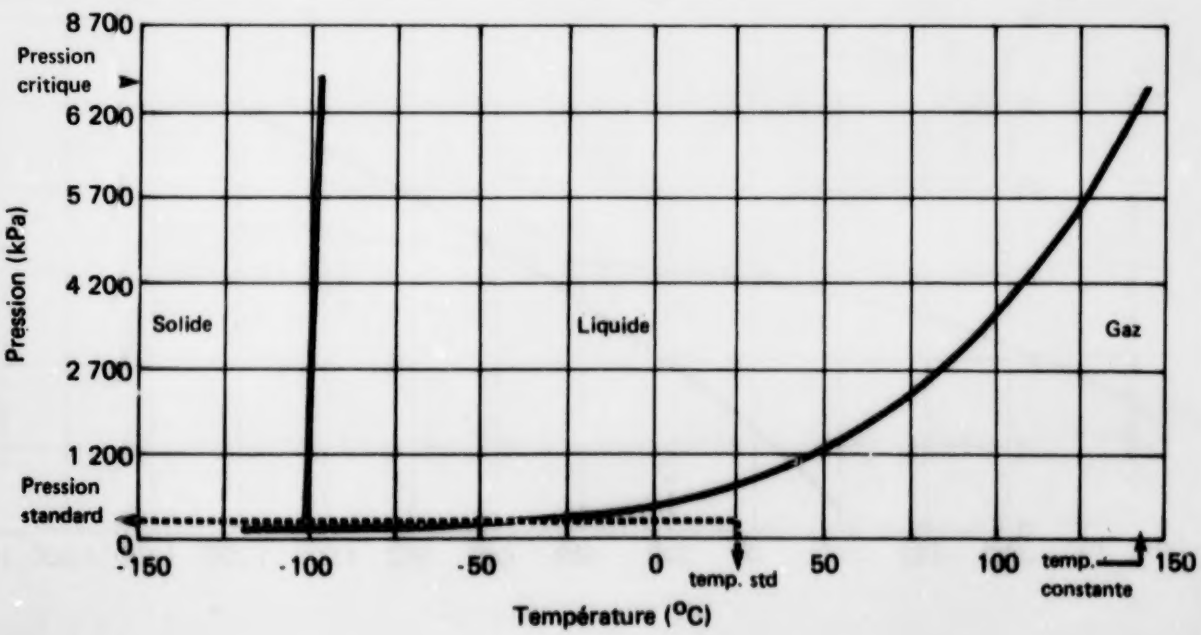


Figure 6

CHLORE

DIAGRAMME DE PHASE



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Teneur du produit

Le chlore est transporté à l'état liquide, après avoir été liquéfié par compression; il est vendu à une teneur minimale de 99,5 p. 100 (Dow MSDS, 1979; Hooker, PIM, 1979; CIL, TSB).

3.2 Fabricants situés au Canada

Le lecteur trouvera ci-dessous les adresses des sièges sociaux (Corpus, 1983; Scott, 1979; CCPA, 1981). Il est à noter que ces adresses ne sont pas fournies dans le but qu'on s'en serve comme premier recours en cas de déversement accidentel.

CIL Inc., 45 Sheppard Avenue East, Willowdale, Ontario, M2N 5W9, (416) 226-6110
Canadian Occidental Petroleum Limited, Hooker Chemical Division, 700 Fourth Avenue S.W., Calgary, Alberta, T2P 0K2, (403) 265-2390
Canso Chemicals Limited, P.O. Box 484, New Glasgow, Nouvelle-Écosse, B2H 5E5, (902) 755-1785
Dow Chemical Canada, P.O. Box 1012, Modeland Road, Sarnia, Ontario, N7T 7K7, (519) 339-3131
FMC Chemicals, 570-875 Dunsmuir Street, Vancouver, Colombie-Britannique, V6C 1N5, (604) 685-6508
Great Lakes Forest Products, Duke Street, Dryden, Ontario, P8N 2Z9, (807) 223-2323
Prince Albert Pulp Company Ltd., Saskatoon Chemicals Division, P.O. Box 1586, Saskatoon, Saskatchewan, S7K 3R3, (306) 652-9456
Stanchem, Division de PPG Industries Canada Limited, 5029, rue St-Ambroise, Montréal, Québec, H4C 2E9, (514) 933-6721
St. Anne Chemical Co., 8 Prince Arthur Avenue, Toronto, Ontario, M5R 1A9, (416) 968-2900

3.3 Volume de production (Corpus, 1983)

Société, ville, province	Capacité nominale kilotonnes/an (1982)
CIL, Bécancour, Québec	295
CIL, Cornwall, Ontario	37
CIL, Dalhousie, Nouveau-Brunswick	28
Canadian Occidental, Vancouver, Colombie-Britannique	141
Canadian Occidental, Harmac, Colombie-Britannique	28
Dow Chemical Canada, Sarnia, Ontario	318
Dow Chemical Canada, Ft. Saskatchewan, Alberta	476
FMC Chemicals, Squamish, Colombie-Britannique	68
Great Lakes Forest Products, Dryden, Ontario	14,5
Prince Albert Pulp, Saskatoon, Saskatchewan	33
St. Anne Chemical, Nackawic, Colombie-Britannique	33
Stanchem (PPG), Beauharnois, Québec	116
TOTAL	1 587,5
Production nationale (1982)	1 233,3
Importations (1982)	21,4
TOTAL GÉNÉRAL	1 254,7

3.4 Itinéraires utilisés pour le transport

Il existe plusieurs producteurs de chlore répartis dans sept des provinces canadiennes et l'utilisation du chlore est très répandue. Les plus grandes usines sont situées à Fort Saskatchewan (Alberta), près de Québec et Montréal (Québec), à Sarnia (Ontario) et à Vancouver (Colombie-Britannique).

3.5 Fabrication industrielle (Shreve, 1977)

3.5.1 Information générale. – Au Canada, le chlore est produit par décomposition électrolytique de saumures.

3.5.2 Procédé de fabrication. – Il existe trois types de cellules électrolytiques: au mercure, à diaphragme et à membrane. L'emploi de cellules au mercure a beaucoup diminué depuis l'entrée en vigueur de règlements gouvernementaux rigoureux portant sur l'utilisation du mercure. Il ne sera question dans les lignes qui suivent que des cellules à diaphragme et à membrane.

Dans la cellule à diaphragme, les deux électrodes sont séparées par un diaphragme. La section anodique de la cellule est alimentée en saumures. Le chlore se forme à l'anode et les ions sodium passent à travers le diaphragme pour aller former de l'hydroxyde de sodium à la cathode. L'équation suivante décrit bien ce procédé:

$$NaCl(aq) + H_2O \rightarrow \underset{\text{(cathode)}}{NaOH(aq)} + \underset{\text{(cathode)}}{1/2\ H_2(g)} + \underset{\text{(anode)}}{1/2\ Cl_2(g)}$$

Le diaphragme permet de fabriquer une cellule compacte, à faible résistance. Le diaphragme laisse passer librement les ions tout en réduisant la diffusion des produits de l'électrolyse. En fait, la solution de chlorure de sodium peut migrer à travers les pores du diaphragme et le caustique (hydroxyde de sodium) peut revenir vers l'anode en passant par les pores du diaphragme. Notons, comme inconvénients, que la première migration produit de l'hydroxyde de sodium contenant beaucoup de chlorure de sodium et que la seconde migration produit de l'oxygène qui dilue le chlore et attaque l'anode.

Pour remédier à ces inconvénients, il existe de nouvelles membranes sélectives d'ions, afin de séparer l'anode et la cathode. Ces membranes permettent la production de caustique à teneurs plus fortes et réduisent le besoin de procédés de nettoyage en aval. Ces membranes sont généralement des fluorocarbures.

Certaines entreprises améliorent la conception des nouvelles cellules en liant directement les électrodes à la membrane. Une autre entreprise travaille à la création d'une cellule utilisant l'énergie du sous-produit hydrogène pour purifier et concentrer l'hydroxyde de sodium par électrodialyse et pour générer simultanément une partie de l'énergie du courant continu requis pour le fonctionnement de la cellule. Cette dernière est entièrement en plastique; elle comporte des électrodes catalysées poreuses, des brèches très étroites et une membrane à dialyse spéciale, échangeuse de cations. Libre de chlore, la cellule s'accomode de membranes peu coûteuses à base d'hydrocarbures (Chemical Week, 1981).

3.6 Principales utilisations au Canada

Le chlore est utilisé dans l'industrie des pâtes et papiers, dans l'exploitation minière, dans les fonderies et dans le traitement de l'eau. Il est utilisé dans la fabrication des produits suivants:

chlorure d'aluminium, phosgène, hypochlorite de sodium, dichloroéthane, solvants chlorés, oxyde de propylène, phénols chlorés, acide monochloroacétique, tétrachlorure de carbone et chlorure d'hydrogène (Corpus, 1983).

3.7 **Principaux acheteurs au Canada** (Corpus, 1983; CBG, 1980)

Abitibi-Price, Smooth Rock Falls, Ontario
Air liquide Canada Ltée, Montréal, Québec
American Can, Marathon, Ontario
BC Forest Products, Crofton, C.-B.
Bartek Chemical, Burlington, Ontario
Bayer Canada, Mississauga, Ontario
Boise Cascade, Ft. Frances, Ontario; Newcastle, N.-B.
Bristol-Myers, Toronto, Ontario
Canadian Cellulose, Prince Rupert, C.-B.
Canadian Forest Products, Port Mellon, C.-B.
Canadian Int'l Paper, La Tuque, Québec;
Hawkesbury, Ontario
Canadian Miraclean, Vancouver, C.-B.
Capo Polishes, Burlington, Ontario
Cariboo Pulp, Quesnel, C.-B.
Chlorox, Bramalea, Ontario
Cornwall Chemicals, Cornwall, Ontario
Crestbrook Forest Ind., Skookumchuk, C.-B.
Crown Zellerback, Campbell River, C.-B.
Diversey Wyandotte, Mississauga, Ontario
Domtar, Cornwall, Ontario
Eddy Forest Products, Espanola, Ontario
Ethyl Canada, Sarnia, Ontario
Finnan Engineered Products, Montréal, Québec
Fraser Atholville, Edmundston, N.-B.
Great Lakes Forest Products, Thunder Bay, Ontario
Harrisons & Crosfield, Toronto, Ontario
Inco, Thompson, Manitoba
Intercontinental, Prince George, C.-B.
International Chemical, Brampton, Ontario
Irving Pulp, Saint John, N.-B.
Kimberly-Clark, Terrace Bay, Ontario
Lavo, Montréal, Québec
MacMillan Bloedel, Harmac, C.-B.
Matheson of Canada, Brampton, Ontario
Northwood Pulp, Prince George, C.-B.
Nova Scotia Forest Industries, Pt. Tupper, N.-É.
Prince George Pulp, Prince George, C.-B.
Rayonier Canada, Port Alice, Squamish, C.-B.
St. Anne-Nackawic, Nackawic, N.-B.
St. Regis (Alberta), Hinton, Alberta
Scott Maritimes, Abercrombie Pt., N.-É.
Tahsis, Gold River, C.-B.
Thurso Pulp & Paper, Thurso, Québec
Toronto Metro, Ontario
Uniroyal, Ft. Saskatchewan, Alberta
Ville de Montréal, Québec
Weyerhaeuser, Kamloops, C.-B.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients de transport

4.1.1 Information générale. – Le chlore liquide est habituellement transporté dans des citernes et récipients en acier, munis de dispositifs de sécurité et dont la résistance à la pression est éprouvée à intervalles réguliers.

Les trois principaux éléments du matériel de transport approuvé par le Chlorine Institute sont la bouteille à gaz, le cylindre d'une tonne et le wagon-citerne ordinaire, par opposition au wagon-citerne à éléments multiples. Ce dernier, que l'on appelle dans le cas du transport du chlore un wagon porte-cylindres (son châssis permet de transporter 15 cylindres d'une tonne) et le véhicule-citerne routier (bien que peu utilisé au Canada pour transporter du chlore) sont également décrits dans les lignes qui suivent.

4.1.2 Bouteilles à gaz. – Les bouteilles à chlore sont fabriquées en acier sans soudure; leur poids brut varie de 0,45 à 68,2 kg (1 à 150 livres); les plus fréquemment employées ont un poids brut de 45,5 ou de 68,2 kg. Les bouteilles de 68,2 kg ont un poids à vide de 54,5 à 63,6 kg (lourdes) et de 38,6 à 47,7 kg (légères); les bouteilles lourdes ont un diamètre extérieur qui varie de 266,7 à 273 mm (10,5 à 10,8 po) et les bouteilles légères, un diamètre qui varie de 260 à 237 mm; leur hauteur atteint entre 1,346 et 1,422 mètre. Ces bouteilles doivent être conformes aux spécifications de la CCT et du DOT n^{os} 3A480, 3AA480, 25, 3, 3BN480, 3E1800 et B.E. 25. Les bouteilles de catégories 3A ou 3AA qui ont de fortes pressions d'utilisation peuvent également convenir. Le tableau 2 présente ces spécifications (CM, 1976). Les bouteilles les plus fréquemment utilisées sont illustrées à la figure 7.

Le Chlorine Institute a conçu un robinet standard pour les bouteilles munies d'un dispositif de sûreté anti-surpression actionné par la rupture d'un bouchon en métal fusible qui fond entre 70 et 73,9 ^{o}C (CM, 1976).

4.1.3 Cylindres d'une tonne. – Les cylindres d'une tonne servant au transport du chlore sont des récipients en acier soudé dont le poids utile atteint jusqu'à 1 091 kg; ils doivent être conformes aux spécifications CCT/DOT n^{os} 106A500, 106A500X, ICC27 et B.E. décrites au tableau 3. Leur longueur varie de 2,026 à 2,096 m et leur diamètre est de 76,2 cm (CM, 1976). Les extrémités (fond et dessus) forment un creux. À chaque bout du cylindre les côtés présentent un renfoncement qui assure une bonne prise aux poutrelles de levage. L'extrémité pleine de certains modèles comporte un rétreint (CM,1976).

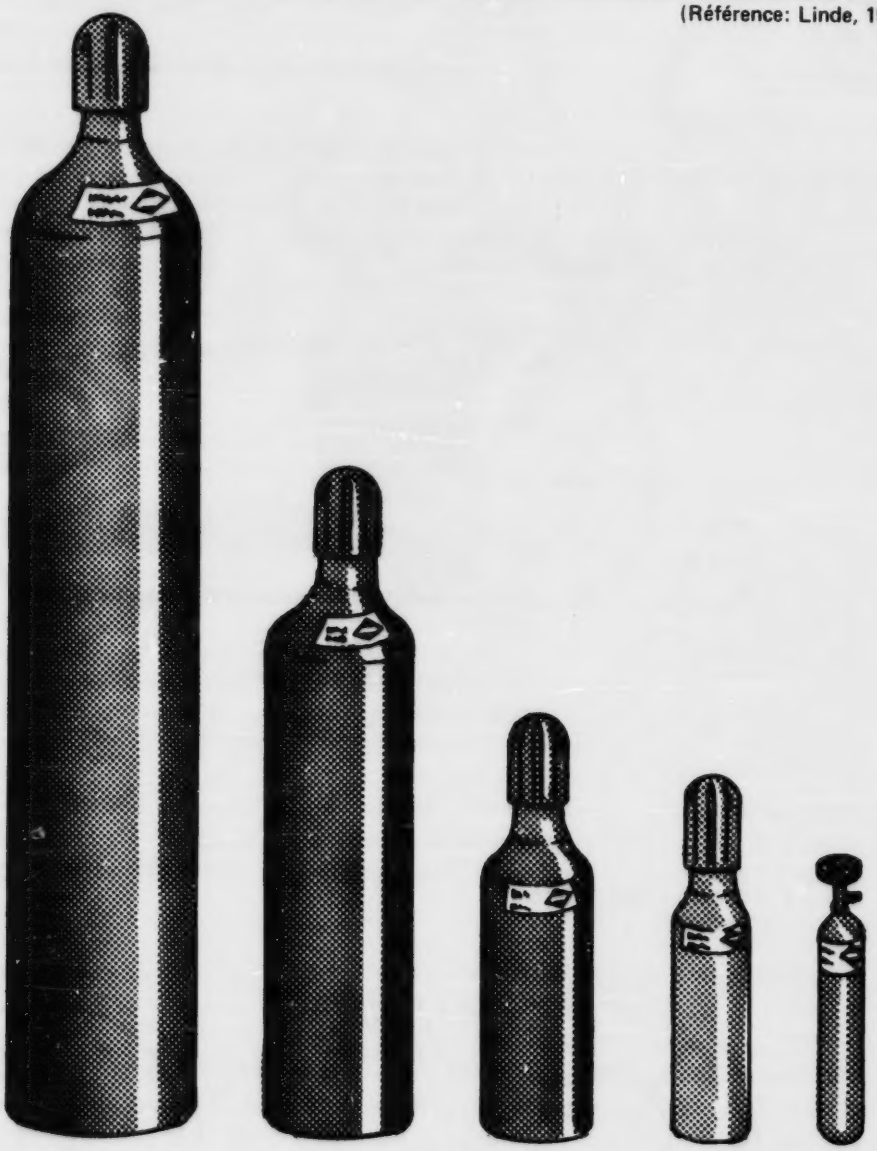
Près du centre de l'une des extrémités, on trouve deux robinets identiques. Le Chlorine Institute a conçu un robinet standard qui se distingue d'autres robinets de cylindre par l'absence de lieu fusible et par un plus grand diamètre. Chaque robinet est raccordé à une tubulure interne de déchargement. Tous deux sont protégés par une calotte protectrice amovible en acier (CM, 1976).

Figure 7

CHLORE

BOUTEILLES À GAZ

(Référence: Linde, 1981)

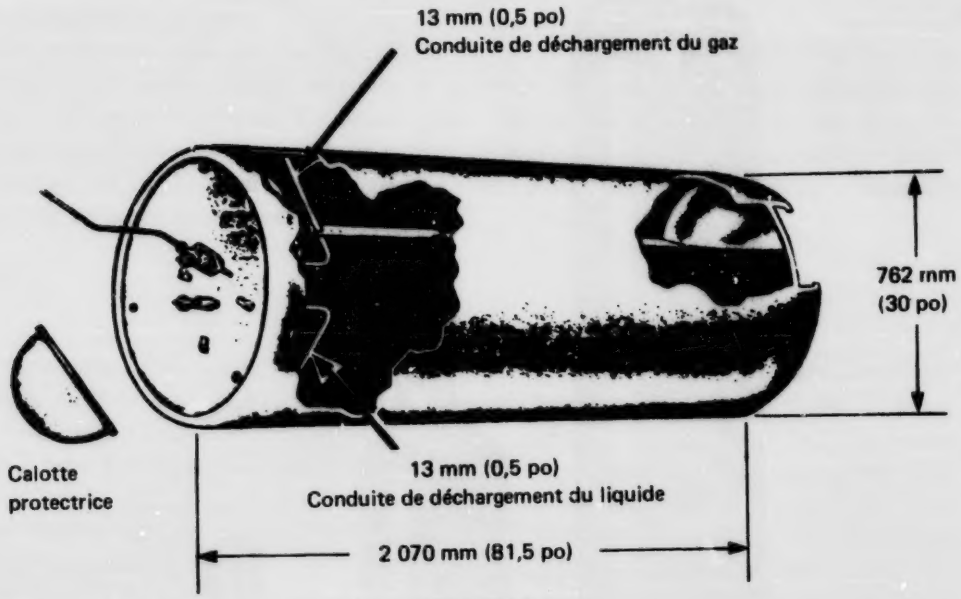


Classification de l'industrie		K	Q	G	F	LB
Dimensions (approx.)	(mm)	229 x 1320	178 x 787	152 x 508	102 x 432	51 x 330
	(po)	9 x 52	7 x 31	6 x 20	4 x 17	2 x 13
Poids à vide (approx.)	(kg)	60	29	13	5	2
	(lb)	132	65	29	10	4

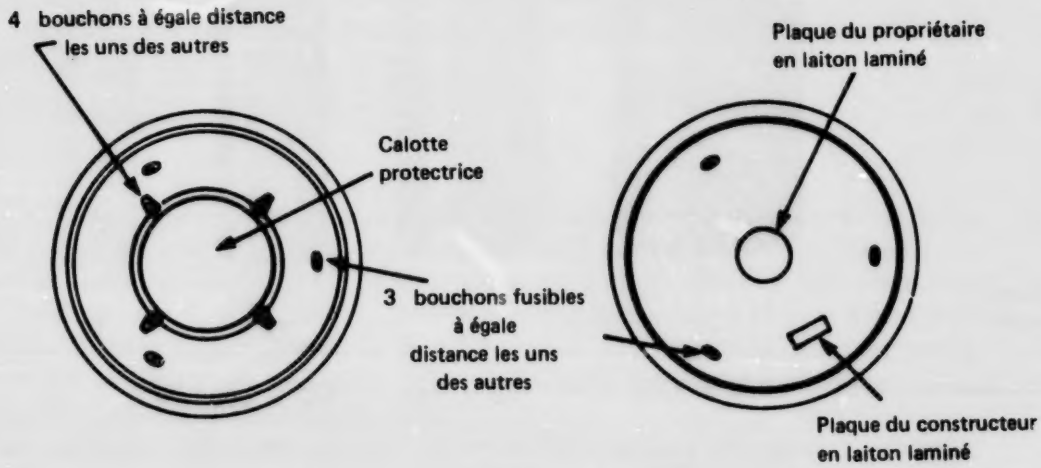
Figure 8

CHLORE — **CYLINDRE D'UNE TONNE**

(Référence : CM, 1976)



Vue de côté



Vue en bout de l'extrémité de chargement

Vue en bout de l'extrémité pleine

Tableau 2
Spécifications CCT/DOT* relatives aux bouteilles à chlore

Spécification	Description de la bouteille
3A	Bouteille en acier sans soudure. Pression minimale d'utilisation: 1 035 kPa (150 psi).
3A480	Semblable à la bouteille 3A sauf pression maximale d'utilisation: 3 312 kPa (480 psi).
3AA	Bouteille en acier sans soudure. Pression minimale d'utilisation: 1 035 kPa (150 psi). Aciers prescrits. Teneur maximale en carbone de 0,28 p. 100.
3AA480	Semblable à la bouteille, 3AA, sauf pression maximale d'utilisation: 3 312 kPa (480 psi).
3BN480	Bouteille en nickel pur sans soudure. Pression maximale d'utilisation: 3 312 kPa (480 psi).
3E1800	Bouteille en acier sans soudure. Pression maximale d'utilisation: 12 400 kPa (1 800 psi). Diamètre maximal: 50 mm; longueur maximale: 610 mm.

* Department of Transportation (U.S.A.)

Tableau 3
Spécifications CCT/DOT relatives aux cylindres d'une tonne

Spécification	Description du cylindre à chlore
106A500	Cylindre en acier soudé, à joints soudés à la forge. Pression d'essai: 3 450 kPa (500 psi).
106A500X	Cylindre en acier. Joints longitudinaux soudés par fusion. Joints de raccordement du fond et du dessus soudés à la forge. Pression d'essai: 3 450 kPa (500 psi).
1CC27	Cylindre en acier soudé à la forge. Pression d'essai: 3 450 kPa (500 psi).

Tous les cylindres à chlore sont munis de dispositifs de détente actionnés par un lien fusible. Ils comportent généralement six bouchons à lien fusible, 3 sur chaque extrémité, formant entre eux des angles de 120 degrés. On utilise un métal fusible qui fond à une température de 70 à 73,9 °C (CM, 1976).

4.1.4 Wagons-citernes. – Construits en acier, les wagons-citernes à chlore sont conçus pour transporter un poids utile de 55 à 90 tonnes (TCM, 1979; ORER, 1983). Ils doivent être conformes aux spécifications CCT/DOT n^{os} 105A500 ou 105A500W. La figure 9 illustre un wagon-citerne type et le tableau 5 fournit les données chiffrées relatives à ce wagon. La seule ouverture permise dans la citerne est un trou d'homme situé au centre de la partie supérieure. Comme le montre la figure 10, on trouve dans le dôme cinq robinets: quatre d'entre eux sont des robinets d'équerre, le cinquième est un robinet de sûreté et de décharge.

Tableau 4
Spécifications CCT/DOT relatives aux wagons-citernes

Spécification	Description des wagons-citernes
105A500	Citerne isolée, en acier soudé à la forge avec trou d'homme. Organes de déchargement par le haut obligatoires. Soupape de sûreté réglée à 2 590 kPa (375 psi). Aucun orifice de purge ou de déchargement par le bas.
105A500W	Identique à 105A500, sauf que la citerne est soudée par fusion.

Tableau 5
Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A500W (TCM, 1979; RTDGR, 1974)

Description	Contenance de la citerne (gal imp.)	
	8 800 gal	15 000 gal
STRUCTURE		
Capacité nominale	40 000 l (8 800 gal)	68 000 l (15 000 gal)
Tare (poids à vide)	33 800 kg (74 600 lb)	37 400 kg (82 500 lb)
Masse brute maximale	99 800 kg (220 000 lb)	106 400 kg (263 000 lb)
CITERNE		
Matériau	Acier	Acier
Épaisseur	17 - 24 mm (11/16 - 15/16 po)	17 - 24 mm (11/16 - 15/16 po)
Diamètre intérieur	2.2 m (88 po)	2,6 m (102 po)
Pression d'épreuve	3 450 kPa (500 psi)	3 450 kPa (500 psi)
Pression d'éclatement	8 620 kPa (1 250 psi)	8 620 kPa (1 250 psi)
DIMENSIONS APPROXIMATIVES		
Longueur avec organes d'attelage	13 m (41 pi)	15 m (48 pi)
Longueur avec pylônes de choc	12 m (39 pi)	14 m (46 pi)
Longueur entre pivots de bogies	9 m (28 pi)	11 m (35 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (7 - 10 pi)	2 - 3 m (7 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
CHARGEMENT/DÉCHARGEMENT		
Raccord de déchargement Robinets	25 mm (robinet) et 32 mm (clapet de retenue) 2 raccords de déchargement et 2 robinets de phase gazeuse	
DISPOSITIF DE SÛRETÉ	Soupape de sûreté et de décharge réglée à 2 590 kPa (375 psi)	
ISOLATION	102 mm d'épaisseur, en mousse ou en liège	

Le Chlorine Institute a conçu un robinet d'équerre standard. Deux robinets de ce type, montés sur la ligne centrale longitudinale, servent au déchargement du chlore liquide. Deux autres robinets du même type, montés sur la ligne centrale transversale, sont raccordés à la phase gazeuse.

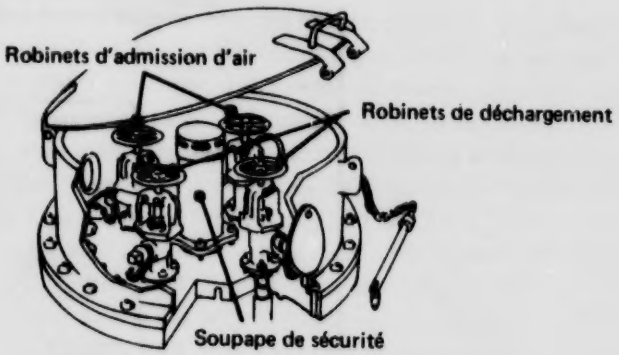
Sous chaque robinet de la phase liquide se trouve une tubulure de déchargement reliée au couvercle du trou d'homme et descendant jusqu'au fond de la citerne. À l'extrémité supérieure de la tubulure de déchargement, immédiatement sous le couvercle du trou d'homme, se trouve un limiteur de débit de type à bille, qui se ferme lorsque le débit du chlore liquide excède 6 800 kg/h. Il s'agit d'un dispositif de protection qui se ferme automatiquement si le robinet d'équerre est brisé ou, dans certaines conditions, si la tubulure de déchargement est détachée ou coupée (CM, 1970). La soupape de sûreté, du type à ressort, est habituellement montée sur une tige de rupture.

Figure 9

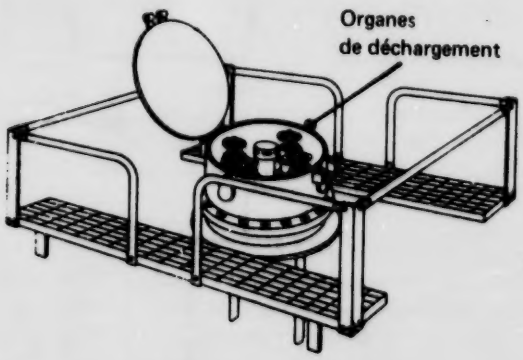
CHLORE

WAGON-CITERNE DE CLASSE 105A500W

(TCM, 1979; RTDCR, 1974)



Détail des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme de dôme

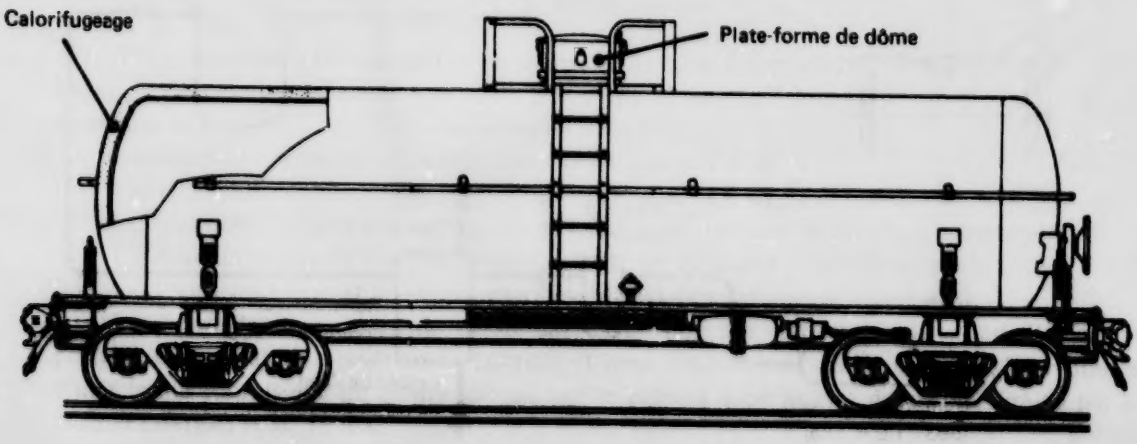
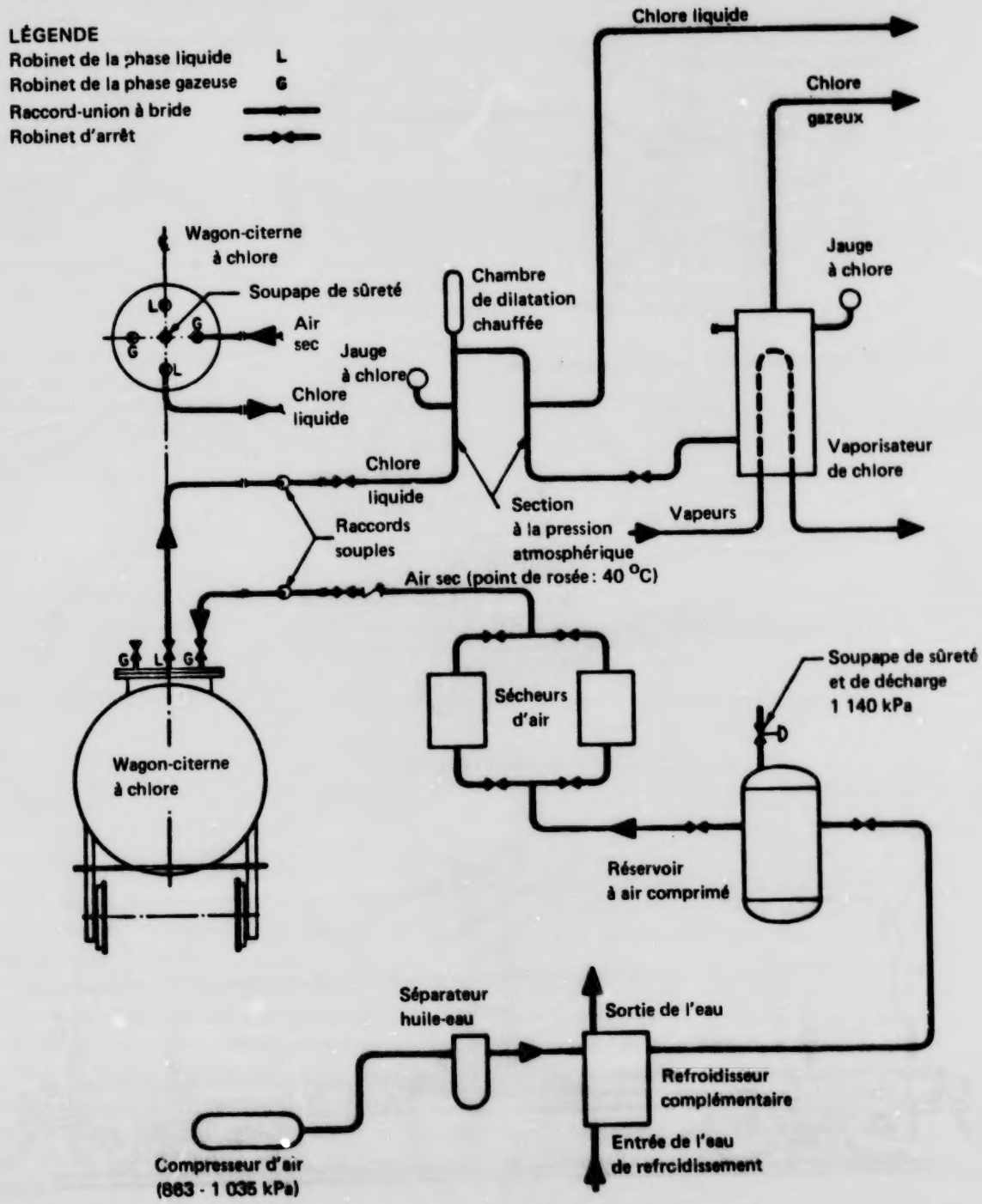


Schéma d'un wagon-citerne

Figure 10

CHLORE — **DÉCHARGEMENT DU WAGON-CITERNE**



4.1.5 Wagons porte-cylindres. – Le wagon porte-cylindres utilisé pour le chlore comporte un châssis où sont placés 15 cylindres (CM, 1970). Le chargement ou le déchargement des cylindres d'une tonne requièrent des grues ou des appareils de levage d'une capacité d'au moins 2 tonnes. Il est également important d'utiliser un palonnier adéquat (CM, 1970).

4.1.6 Véhicules-citernes routiers. – Pour le transport routier du chlore, on utilise une semi-remorque-citerne tractée. Le poids utile ne doit pas dépasser les limites de charge propres au transport sur route. Les citernes doivent être conformes aux spécifications MC331 ou TC331 décrites au tableau 6. La plupart des citernes à chlore ont une capacité comprise entre 14 et 18 tonnes mais cette capacité peut aller jusqu'à 29 tonnes (HCG, 1981).

Ces citernes sont pourvues d'un isolant de 100 mm d'épaisseur protégé par une chemise en acier. La seule ouverture permise est le trou d'homme situé à sa partie supérieure. La disposition des robinets est la même que dans les wagons-citernes sauf que des limiteurs de débit doivent être obligatoirement montés sous les robinets de la phase gazeuse. Les robinets d'équerre sont identiques à ceux des wagons-citernes (CM, 1976).

Immédiatement sous chaque robinet (d'équerre) de la phase liquide se trouvent un limiteur de débit et une tubulure de déchargement comme ceux des wagons-citernes. De plus, sous chaque robinet à gaz se trouve un limiteur de débit d'une conception différente, servant à arrêter l'écoulement du gaz vers l'extérieur si le robinet d'équerre se brise (CM, 1976).

La soupape de sûreté, du type à ressort, est toujours montée sur une tige de rupture conçue pour se briser à 1 550 kPa (225 psi).

Tableau 6
Spécifications CCT/DOT relatives aux semi-remorques-citernes

Spécification	Description de la citerne
MC331 (ou TC331)	Citerne en acier sans joint ou en acier soudé. Conception et construction conformes aux prescriptions du code ASME. Une ouverture avec capot protecteur et couvercle de trou d'homme. Pression nominale maximale 3 450 kPa (500 psi). Isolée. Traitement post-chauffage après soudage conforme aux prescriptions du code ASME. Jauge interdite.

4.2 Déchargement

4.2.1 Matériel et procédés de déchargement pour les bouteilles et les cylindres d'une tonne. – Les bouteilles et les cylindres d'une tonne sont manipulés et entreposés de façon semblable (CM, 1976). Les directives suivantes s'appliquent:

- Les capots de protection des robinets doivent être en place;
- Les récipients ne doivent pas être entreposés près d'un système de ventilation;
- Les récipients doivent être entreposés de manière à minimiser la corrosion externe;
- Les bouteilles doivent être entreposées debout; les cylindres d'une tonne, sur le côté;
- Les récipients pleins et les récipients vides doivent être entreposés séparément.

Les bouteilles fournissent du chlore gazeux en position verticale et du chlore liquide en position horizontale. En position horizontale et leurs robinets en position verticale, les cylindres d'une tonne fournissent du chlore gazeux par le robinet supérieur et du chlore liquide par le robinet inférieur (CM, 1976).

Un raccord souple en cuivre capable de résister à une pression de 3 450 kPa (500 psi) doit être installé entre le récipient et le système de conduites (Dow CH, 1966).

Il est recommandé d'utiliser des colliers de raccordement et des adapteurs pour relier le robinet du récipient à la conduite de déchargement (CM, 1976). Une section à pression atmosphérique (fig. 10) ou un dispositif casse-vide sont nécessaire lorsqu'on décharge une bouteille ou un cylindre d'une tonne, car lorsque le chlore est absorbé dans un liquide ce dernier peut être aspiré dans le récipient (CM, 1976).

4.2.2 Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers. – Les wagons-citernes et les véhicules-citernes routiers sont déchargés en principe de la même façon, en s'assurant qu'au préalable les conditions suivantes ont été respectées:

- L'équipe de travail chargée de l'opération doit être compétente;
- Une voie d'embranchement en cul-de-sac doit être réservée aux wagons-citernes à chlore;
- Les freins doivent être serrés; les roues, calées; et un dérailleur adéquat doit être utilisé;
- Le poste de déchargement doit comporter un quai de service convenable.

Les wagons-citernes, comme les véhicules-citernes routiers, peuvent être déchargés en utilisant soit la tension de vapeur du chlore, soit la pressurisation à air. Dans le premier cas, le chlore liquide est déchargé par un ou deux robinets d'équerre à liquide. Pour décharger le chlore gazeux, le chlore liquide devrait être transformé à l'état de vapeur; le chlore gazeux ne devrait pas être déchargé par des robinets d'équerre à gaz (CM, 1976). Dans le second cas, de l'air sec est utilisé pour augmenter la pression de la citerne, comme l'indique schématiquement la figure 10 (CAP, 1961).

Lorsque les tubulures de déchargement ont été démontées, les bouchons des orifices des robinets doivent être immédiatement revissés pour éviter la corrosion des filets par l'air.

4.2.3 Spécifications et matériaux du matériel de déchargement. – Les éléments d'un système ordinaire de déchargement de chlore sec employé aux températures et pressions ordinaires seront étudiés dans la présente section et notamment les tuyaux, raccords souples, brides et accessoires, robinets, joints d'étanchéité, jauges, rotamètres, vaporiseurs, chambres de dilatation et équipements à pressurisation d'air.

Les tuyaux doivent être fabriqués en acier au carbone sans joint, conformes à l'annexe 80 (Dow CH, 1966). Les tuyaux, accessoires ou équipements en fonte ne doivent jamais être utilisés pour manutentionner du chlore parce que cette matière est plus susceptible de se détériorer que les autres et que les conséquences de cette détérioration seraient vraisemblablement graves. Toutes les canalisations achetées précourbées doivent être du type précourbées à chaud (Dow CH, 1966).

Les joints d'étanchéité des tuyaux doivent de préférence être du type à brides ou soudés. S'il est nécessaire d'utiliser des joints filetés, les filets doivent être propres et bien découpés pour assurer la parfaite étanchéité du joint; il est possible d'enduire le filet mâle d'une petite quantité de pâte d'huile de lin et de céruse appliquée de façon à ce qu'elle ne pénètre pas dans la tuyauterie. On peut utiliser du ruban de téflon ou de la pâte pour étanchéiser la tuyauterie pourvu qu'on soit très prudent au cours de leur utilisation de manière qu'aucun débris ne pénètre dans un tuyau. Pour les joints d'étanchéité permanents, une pâte de litharge et de glycérine fraîchement préparée donne également de bons résultats (Dow CH, 1966).

Des raccords souples consistant en une boucle de tuyau de cuivre ou d'alliage de cuivre doivent être installés entre les récipients et les tuyauteries rigides (LC). Il est recommandé d'utiliser des tubes à eau en cuivre recuits sans joint, conformes à la norme ASTM B88 à paroi d'une

épaisseur de type K ou plus épais. Les connecteurs des wagons-citernes et citernes remorquées à chlore doivent être terminés par des brides en acier forgé de 25 mm conformes à la norme ANSI 300-B16.5 (CM, 1976).

Sont acceptables les brides à collerette à souder, les brides coulissantes et collets soudés ou les brides taraudées en acier forgé, éprouvées à 300 lb, avec faces de joint à emboîtage dressées et percées, conformes aux normes de l'ASA ainsi que les brides en acier forgé à emboîtage pour tuyauterie d'ammoniac (Dow CH, 1966).

Les raccords acceptables comprennent les tés et coudes à souder, en acier forgé série n° 80, les tés et coudes à brides en acier coulé, éprouvés à 300 lb, avec faces de joint ASA à emboîtage dressées et percées et les tés et coudes taraudés en acier forgé éprouvés à 2 000 lb.

Conçus pour les tuyauteries à chlore, les robinets-vannes à tige extérieure et arcade ou à tige montante, dont le corps est en fer noir, acier au carbone forgé à la presse ou en bronze, avec tige et pièces intérieures en monel ou alliage de nickel Hastelloy C sont recommandés pour le chlore. Les presse-étoupe doivent être à boulons et non à visser parce que les filets des presse-étoupe à visser peuvent être attaqués rapidement par la vapeur de chlore humide. Les robinets-vannes en porcelaine non armée sont déconseillés parce qu'ils sont sujets à se détériorer à l'usage (Dow CH, 1966). Les garnitures ordinairement utilisées sont l'amiante imprégné de téflon, l'amiante lubrifié au graphite et les tresses de coton caoutchouté lubrifiées à la cire d'abeille ou au graphite (Dow CH, 1966).

Les robinets-vannes doivent être démontés et débarrassés de l'huile avant d'être utilisés. Avant l'installation, l'étanchéité de leur siège doit être éprouvée à l'air sec à la pression de 1 035 kPa (150 psi), à point de rosée de -40 °C ou moins (Dow CH, 1966).

Les joints d'étanchéité doivent être en plomb à 3 p. 100 d'antimoine ou en fibres d'amiante agglomérées à l'aide d'un liant, conformes à la spécification militaire MIL-A-17472 (marine) ou en matière équivalente. Pour les tuyaux d'un diamètre inférieur à 50 mm, utiliser des joints d'étanchéité de 1,6 mm d'épaisseur et pour les tuyaux d'un diamètre égal ou supérieur à 50 mm, des joints d'étanchéité de 3 mm d'épaisseur. Les joints en caoutchouc sont attaqués par le chlore liquide et ne doivent jamais être utilisés (Dow CH, 1966).

Les manomètres doivent être conçus pour mesurer la pression du chlore et être soit du type protégé par un diaphragme, soit du type à tube de Bourdon en acier forgé soudé. Les diaphragmes peuvent être en monel, argent ou tantale. Une plage de pression d'au moins 1 725 kPa (250 psi) est souhaitable (Dow CH, 1966).

Le débit du chlore liquide ou gazeux peut être mesuré avec la plus grande précision à l'aide de rotamètres spécialement conçus pour cet usage (LC). Lorsqu'un rotamètre est utilisé en phase gazeuse, il doit faire l'objet d'un entretien régulier si l'on veut obtenir des mesures précises. Toute installation d'un orifice pour les besoins du service devrait être conformes à des normes d'ingénierie comme celles qu'on trouve décrites dans le *Flow meter Engineering Handbook* publié par Honeywell ou dans le rapport n° 3 de l'American Gas Association Measurement Committee intitulé *Orifice Metering of Natural Gas* (CE, 1981).

Le chlore est converti de l'état liquide à l'état gazeux à l'aide d'un vaporisateur, dispositif consistant essentiellement en un collecteur d'évaporation constitué par des tuyaux en acier au carbone entourés d'une chemise dans laquelle circule de l'eau chaude ou de la vapeur. (Dans le cas de la vapeur, la température doit être inférieure à 130 °C). Le chlore liquide entre dans le collecteur et se vaporise instantanément. Le chlore gazeux s'échappe par la partie supérieure de l'évaporateur (Dow CH, 1966).

Les conduits de chlore liquide doivent être protégés par des chambres de dilatation dont le volume est égal à au moins 20 p. 100 du volume du conduit entre les robinets d'arrêt. Un cylindre

inverti et situé au plus haut point du conduit remplira cette fonction. Une chambre de dilatation ordinaire consiste en un disque de rupture, un indicateur de pression, une chambre et les accessoires appropriés. Si les robinets du conduit sont fermés et que la température du chlore liquide augmente, ce dernier se dilate et la chambre de dilatation absorbe le volume supplémentaire de chlore emprisonné et élimine de ce fait la possibilité de rupture du conduit sur pression. Toute chambre de dilatation située à l'extérieur doit être tracée à la vapeur (CM, 1976). À noter qu'une soupape de sûreté peut également assurer à la tuyauterie une protection convenable (CCPA, 1982).

La méthode de la pressurisation à l'air est assez dangereuse à moins d'utiliser un équipement approprié et d'appliquer des procédés approuvés. Une unité à coussin d'air approuvée consiste en un compresseur d'air approprié, un récepteur conforme au code de l'ASME, un refroidisseur complémentaire, un séparateur eau-huile et un dessicateur à air, comme l'indique la figure 10 (CAP, 1961). Le compresseur doit être d'une conception standard muni d'un dispositif de contrôle automatique de la pression et ne doit pas être relié au réseau de distribution d'air comprimé de l'usine. Différents types de dessicateurs peuvent être utilisés à condition qu'ils soient capables de sécher l'air jusqu'à un point de rosée de -40 °C mesuré à la pression du wagon-citerne. Le réservoir à air comprimé doit être équipé d'un manomètre, d'une soupape de sûreté, d'un robinet de vidange et de dispositifs de contrôle automatique de la pression (CAP, 1961).

4.3 Matériel et procédés pour un déchargement d'urgence

Les wagons-citernes et véhicules-citernes routiers utilisés pour un déchargement d'urgence sont semblables à ceux qui ont déjà été décrits ci-dessus. Ils recueillent le chlore liquide transféré des wagons-citernes ou véhicules-citernes routiers endommagés. De plus, des systèmes d'arrêt d'urgence peuvent être installés dans les stations de chargement et de déchargement des wagons-citernes de chlore (ESF, 1965) pour éviter qu'une fuite importante se produise si, par exemple, une locomotive de manoeuvre déplaçait un wagon-citerne en cours de chargement ou de déchargement et brisait le raccord. Ce système consiste en une vanne à commande pneumatique munie d'un contacteur commandé par la pression aval. La diminution de pression causée par une fuite importante fait ouvrir les contacts du contacteur et, par l'intermédiaire d'une soupape à solénoïde fait passer l'air à la vanne de commande, amenant la fermeture de celle-ci et l'arrêt de l'écoulement de chlore (ESF, 1965).

4.4 Compatibilité entre le produit et différents matériaux

La compatibilité entre le chlore et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 7. Le système d'évaluation utilisé au tableau 8 est décrit brièvement ci-dessous.

Recommandé : Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves : Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; peut convenir pour utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé : L'application indiquée causera une grave détérioration du matériau; son utilisation est donc déconseillé.

Tableau 7
Compatibilité entre le chlore et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Produit		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	État/teneur	Temp. (°C)			
1. Conduites et raccords			Acier sans joint série 80; raccords en fer malléable éprouvés à 300 lb ou en acier forgé éprouvés à 200 lb (HOC, 1972) Fer noir soudé ou acier avec brides à tuyau d'ammoniac; joints d'étanchéité en amiante, ou en plomb à 3 % d'antimoine Cuivre (LC)		Raccords en PVC (HOC, 1972) ou en fonte auténitique malléable (PAE, 1968) Accessoires en acier au carbone cintrés à froid (PAE, 1968)
	Gaz sec	23		Acrylonitrile-butadiène-styrène PVC I PVC II (DPPED, 1967)	Polyéthylène (DPPED, 1967)
	Gaz sec	60		PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
	Gaz sec	71			Acrylonitrile-butadiène-styrène (DPPED), 1967
	Gaz sec				PVC I* Acrylonitrile-butadiène-styrène* Polyéthylène (MWPP, 1978)
	Gaz sec	93	PVDF (DCRG, 1978)		
	Gaz sec	24	Polyéther chloré Polypropylène PVDC (DCRG, 1978)		
	Gaz humide	23			Polyéthylène Acrylonitrile-butadiène-styrène PVC I, PVC II (DPPED, 1967)

Tableau 7 (suite)

Utilisation	Produit		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	État/teneur	Temp. (°C)			
	Gaz humide	93	PVDF (DCRG, 1978)		
	Gaz humide	24	Polyéther chloré Polypropylène PVDC (DCRG, 1978)		
	Liquide	93	PVDF (DCRG, 1978)		
	Liquide				Polyéther chloré Polypropylène PVDC (DCRG, 1978)
2. Robinetterie			Corps en bronze, tiges et sièges en monel; corps en acier, siège en téflon, boisseau sphérique en monel (HOC, 1972)		Robinets en porcelaine non-armés (PAE, 1968)
	Gaz sec	21	Acier inoxydable 316 (JSSV, 1979)		
	Gaz humide (jusqu'à 2 % d'humidité)	21	Acier inoxydable J-20 (JSSV, 1979)	Acier inoxydable 316 (JSSV, 1979)	
3. Stockage	Liquide	20	Acier au carbone Acrylonitrile-butadiène-styrène A-612 -72a GR.B Acier au carbone Acrylonitrile-butadiène-styrène A-516 -72 GR.65 ou 70		
4. Autres				Butylcaoutchouc Terpolymère d'éthylène-propylène-diène (GPP)	Caoutchouc naturel Styrène-butadiène Polychloroprène Caoutchouc nitrile-butadiène Polyéthylène chlorosulphoné (GPP) Chlorure de polyvinyle non plastifié Polyéthylène
	Liquide	20	Butylcaoutchouc Terpolymère d'éthylène-propylène-diène		

Tableau 7 (suite)

Utilisation	Produit		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	État/teneur	Temp. (°C)			
			Polychloroprène Caoutchouc fluoré Polyéthylène chlorosulphoné (GFPS)		Polypropylène Polyoxyméthylène Caoutchouc naturel Caoutchouc nitrile-butadiène (GFPS)
	Gaz sec (100 %)	20	Chlorure de polyvinyle non plastifié Caoutchouc fluoré (GFPS)	Polyéthylène Polypropylène Polyéthylène chlorosulphoné (GFPS)	Polyoxyméthylène Caoutchouc naturel Caoutchouc nitrile-butadiène Butylcaoutchouc Terpolymère d'éthylène-propylène-diène Polychloroprène (GFPS)
	Gaz sec	20		Acier inoxydable 302 Acier inoxydable 304 Acier inoxydable 316 (ASS)	Acier inoxydable 410 Acier inoxydable 430 (ASS)
	Gaz humide	20		Acier inoxydable 316 (ASS)	Acier inoxydable 302 Acier inoxydable 304 Acier inoxydable 410 Acier inoxydable 430 (ASS)
		100			Acier inoxydable 302 Acier inoxydable 304 Acier inoxydable 316 Acier inoxydable 410 Acier inoxydable 430 (ASS)

Tableau 7 (suite)

Utilisation	Produit		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	État/teneur	Temp. (^{o}C)			
	Gaz sec ou humide	22			PVC (TPS, 1978)
	Gaz sec ou humide	23			Polypropylène (TPS, 1978)
	Gaz sec ou humide	66	PVDF (TPS, 1978)		Polypropylène (TPS, 1978)
	Liquide				PVC CPVC Polypropylène (TPS, 1978)
	Gaz (90 %)	24 - 100	Verre (CDS, 1967)		
	Gaz (100 %)	24 - 316	Verre (CDS, 1967)		
	Gaz (90 - 100 %)	24	Bois (cyprès, séquoia) (CDS, 1967)		
	Liquide (100 %)	24 - 100	Verre (CDS, 1967)		

*Matériau ayant reçu une moins bonne évaluation, pour une utilisation semblable, dans un autre ouvrage de référence.

Tableau 8
Abréviations de noms de matériaux de fabrication

Abréviation	Matériau de construction
CSM	Polyéthylène chlorosulfoné
EPDM	Terpolymère d'éthylène-propylène-diène
IIR	Butylcaoutchouc
NBR	Caoutchouc nitrile-butadiène
POM	Polyoxyméthylène

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

Le chlore est généralement transporté à l'état de gaz liquéfié comprimé. Il peut s'échapper dans l'atmosphère de deux façons: dégagement continu de gaz ou de liquide pendant une période de temps déterminée ou irruption br sque lorsqu'il y a bris grave d'un récipient.

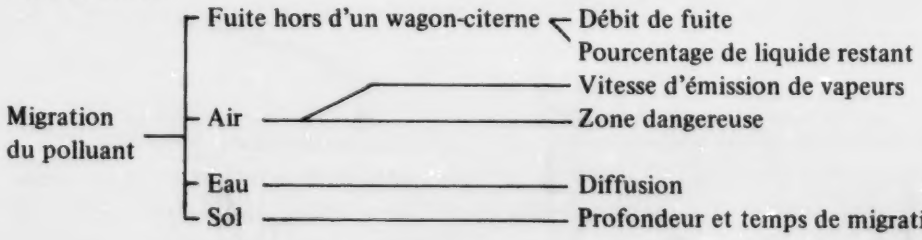
Dans le premier cas, il peut s'agir d'une bouteille ou d'une conduite de transfert qui fuient, ou encore d'un wagon-citerne dont une partie seulement du contenu s'est déversé. Le liquide qui reste alors dans le récipient se refroidira jusqu'à son point d'ébullition, soit -34,6 °C. Le refroidissement sera plus rapide si le débit de fuite est plus grand. Lorsque l'accident met en cause un wagon-citerne et que la brèche est grande, il arrive qu'une couche de glace se forme à la surface du chlore liquide, freinant le débit de fuite et parfois même arrêtant la fuite. Tout déplacement du récipient ou de son contenu est susceptible, cependant, de briser la glace et de réamorcer la fuite.

Lorsque du chlore liquide est déversé, une partie de celui-ci se vaporise aussitôt, refroidissant le reste jusqu'à son point d'ébullition. Aussi le résultat d'un fort déversement est-il en tout premier lieu la formation d'un nuage de chlore ayant une teneur très élevée. Ce brusque dégagement initial (bouffée) est suivi d'une émission plus lente et régulière de gaz, dont le débit est alors fonction de la vitesse d'absorption de chaleur du milieu récepteur. Une nappe de chlore liquide à -34,6 °C s'évaporera moins vite sur le sol que dans l'eau, étant donné la lenteur de l'échange thermique sur le sol.

Le dégagement initial qui suit une perforation grave et qui constitue une émission éclair est communément appelé bouffée. Si un wagon-citerne contenant 80 000 l de chlore liquide, par exemple, est gravement perforé et perd son contenu entier, par une température de 25 °C, environ 20 000 l (soit le quart du chlore) s'échapperont en bouffée. Les autres 60 000 l se répandront sur le sol, formant des flaques dans les petites dépressions du terrain, tout en continuant d'émettre des vapeurs dans l'atmosphère. Si ces 60 000 l étaient déversés dans l'eau, ils s'y enfonceraient en bouillant. Les vapeurs, quant à elles, qu'il s'agisse d'un déversement sur le sol ou dans l'eau, vont tendre à demeurer au ras des surfaces et à s'étaler plutôt qu'à s'élever et à se disperser.

Le chlore répandu sur le sol peut y pénétrer par adsorption à une vitesse qui varie selon le type de sol et le degré de saturation en eau de ce sol. Sa migration vers la nappe phréatique peut être à l'origine de pollutions sérieuses.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration d'un polluant dans l'air, l'eau ou le sol:



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu.

Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques dans les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – Le produit est ordinairement transporté par wagon-citerne, à l'état de gaz liquéfié comprimé. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et il peut contenir environ 80 000 l.

S'il y a perforation de la paroi dans le bas de la citerne remplie, celle-ci se videra de tout son chlore. Dans ce cas, le débit de sortie, en l'occurrence le débit de fuite, se calcule par la méthode dite des orifices, qui consiste en une formule corrigée du théorème de Torricelli. Le débit de fuite q, qui est un débit-volume q_v, est fonction de la surface de la section s et de la forme de l'orifice, de la hauteur h de liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit Cq (Streeter, 1971). Pour préparer les nomogrammes, nous avons supposé un coefficient de débit de 0,8.

Si la citerne est perforée soit sur le dessus soit au-dessus du niveau du liquide, le gaz s'échappe jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé et que les pressions internes et externes se soient équilibrées. Pour les besoins des nomogrammes, il a été supposé que le liquide conserve une température constante, égale à la température ambiante. Le débit de fuite demeure donc constant jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé. Le débit de fuite est fonction de la pression interne qui est la tension de vapeur saturante du liquide à la température ambiante. Il a été supposé que la température ambiante est de 40 °C, ce qui donne une tension de vapeur saturante de 1 200 kPa. En posant l'hypothèse de telles conditions isothermiques, on maximise le débit de fuite du gaz et l'on obtient des valeurs qui correspondent aux scénarios les plus pessimistes.

Le pire cas susceptible de se présenter serait celui d'un wagon-citerne accidenté dont la plus grande partie du calorifugeage serait endommagé, dont la paroi serait perforée, et qui serait la proie des flammes. Le feu chaufferait le wagon-citerne, contrebalançant l'effet de refroidissement du chlore liquide en processus de vaporisation. Tout le chlore s'échapperait alors très rapidement. Par temps froid, cependant, et le calorifugeage n'ayant subi aucun dommage, la période que mettrait le chlore à s'échapper au complet serait de plusieurs ordres de grandeur (10^4 à 10^7) plus longue. Comme on le voit, il est important dans un cas semblable d'évaluer l'état du calorifugeage et la chaleur externe disponible, pour pouvoir se faire une bonne idée de la quantité de chlore qui reste dans la citerne et du temps qu'il faudra avant que celle-ci se vide.

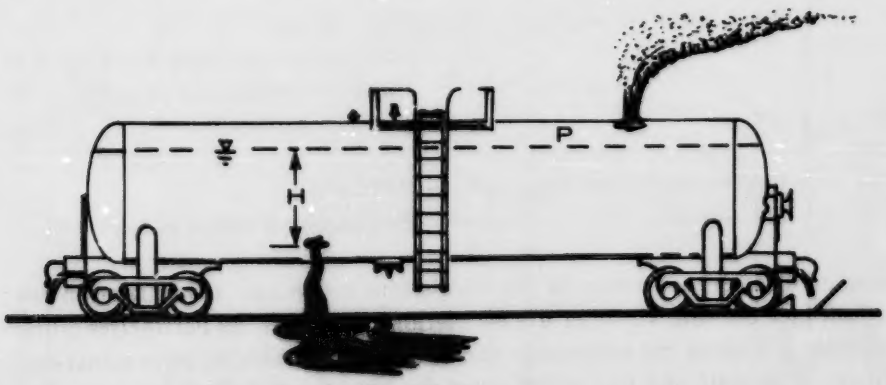


FIGURE 11 WAGON-CITERNE PERFORÉ DANS LE BAS OU SUR LE DESSUS

Le but des nomogrammes est de fournir un moyen simple de déterminer l'évolution du processus de fuite, qu'il s'agisse de l'écoulement d'un liquide par un trou situé dans le bas de la citerne ou de l'échappement d'un gaz par un trou situé au-dessus du niveau du liquide. Le lecteur trouvera dans le Manuel d'introduction Enviroguide les détails des modèles utilisés pour le calcul du débit de fuite.

5.2.2 Nomogrammes relatifs aux fuites

5.2.2.1 Perforation dans le bas; fuite de liquide

Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 12 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type a 2,75 mètres de diamètre et 13,4 mètres de longueur, qu'il contient 80 000 litres de chlore à 40 °C et qu'il est plein au moment du bris. Le volume de liquide restant, après un temps d'écoulement donné t, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

Débit de fuite du liquide en fonction du diamètre de l'orifice. – La figure 13 permet d'évaluer le débit de fuite en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres. Comme la force de la pression de vapeur est supérieure à la force de pesanteur, le débit de fuite demeure relativement constant à mesure que le wagon-citerne se vide.

5.2.2.2 Perforation sur le dessus; fuite de gaz

Pourcentage de chlore restant en fonction du temps d'émission. – La figure 14 permet d'évaluer le pourcentage de chlore restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes les formes.

Débit de fuite du gaz en fonction du diamètre de l'orifice. – La figure 15 permet d'évaluer le débit de fuite en fonction de diamètres équivalents donnés. Pour tout diamètre de l'orifice, le débit de fuite est constant jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé, ce qui est conforme à l'hypothèse posée relativement aux conditions isothermiques à l'intérieur de la citerne; il s'ensuit une évaluation modérée du débit de fuite. Les valeurs indiquées à la figure 15 sont indépendantes de la taille du wagon-citerne, mais elles supposent une température du liquide de 40 °C et une tension de vapeur saturante de 1 200 kPa.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation, dans le bas, d'un wagon-citerne standard (diamètre de 2,75 m et longueur de 13,4 m) rempli de chlore à 40 °C. Le diamètre équivalent de l'orifice est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 1 minute et quel est le débit instantané?

Solution

Étape 1 Calcul du volume de liquide restant.

Se servir de la figure 12.

Si t = 1 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant est d'environ 42 000 litres, soit 52 p. 100.

Figure 12

CHLORE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT/TEMPS D'ÉCOULEMENT

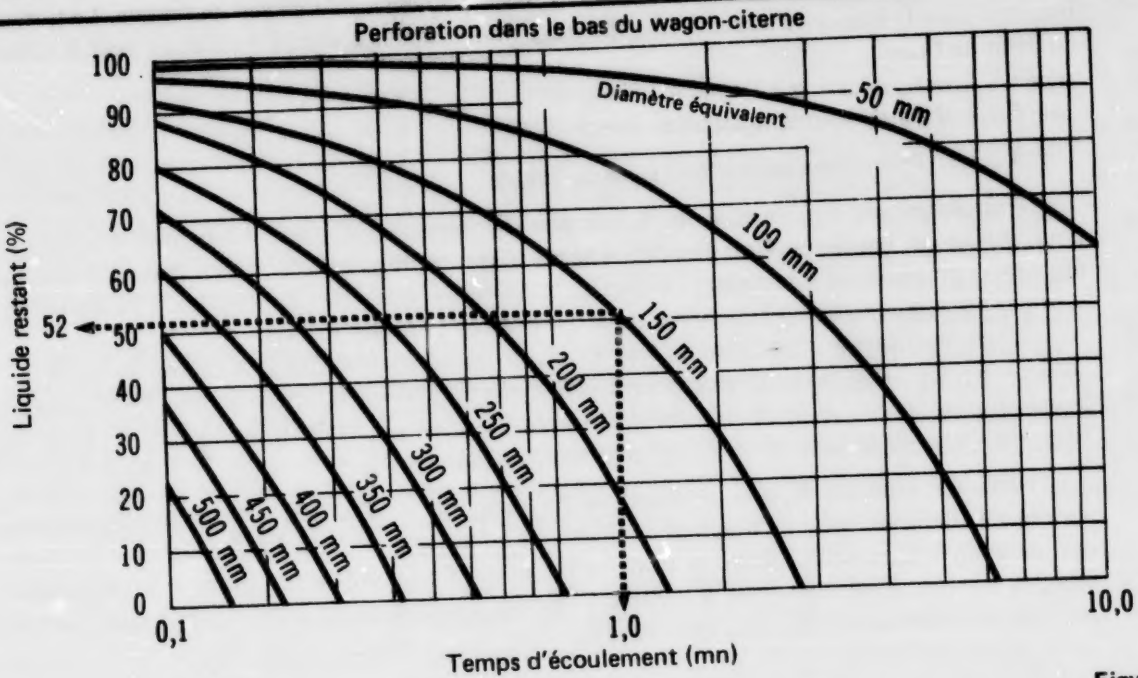


Figure 13

CHLORE

DÉBIT DE FUITE/DIAMÈTRE DE L'ORIFICE

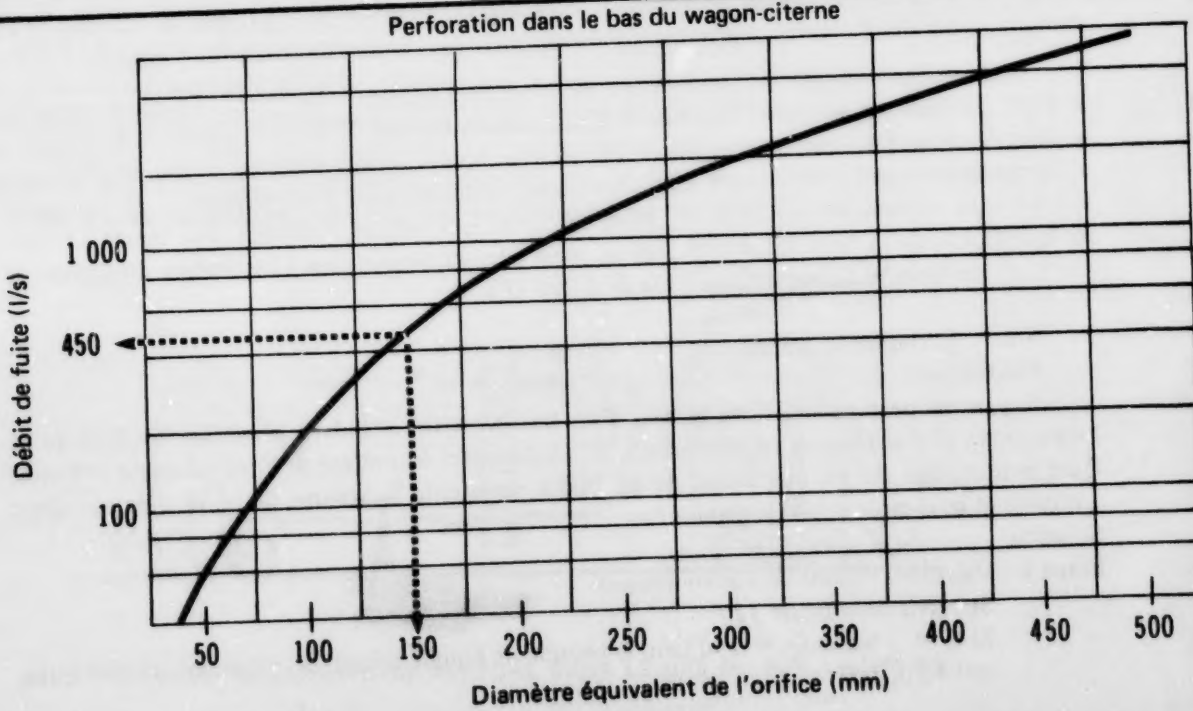


Figure 14

CHLORE — **POURCENTAGE DE CHLORE RESTANT/TEMPS D'ÉMISSION**

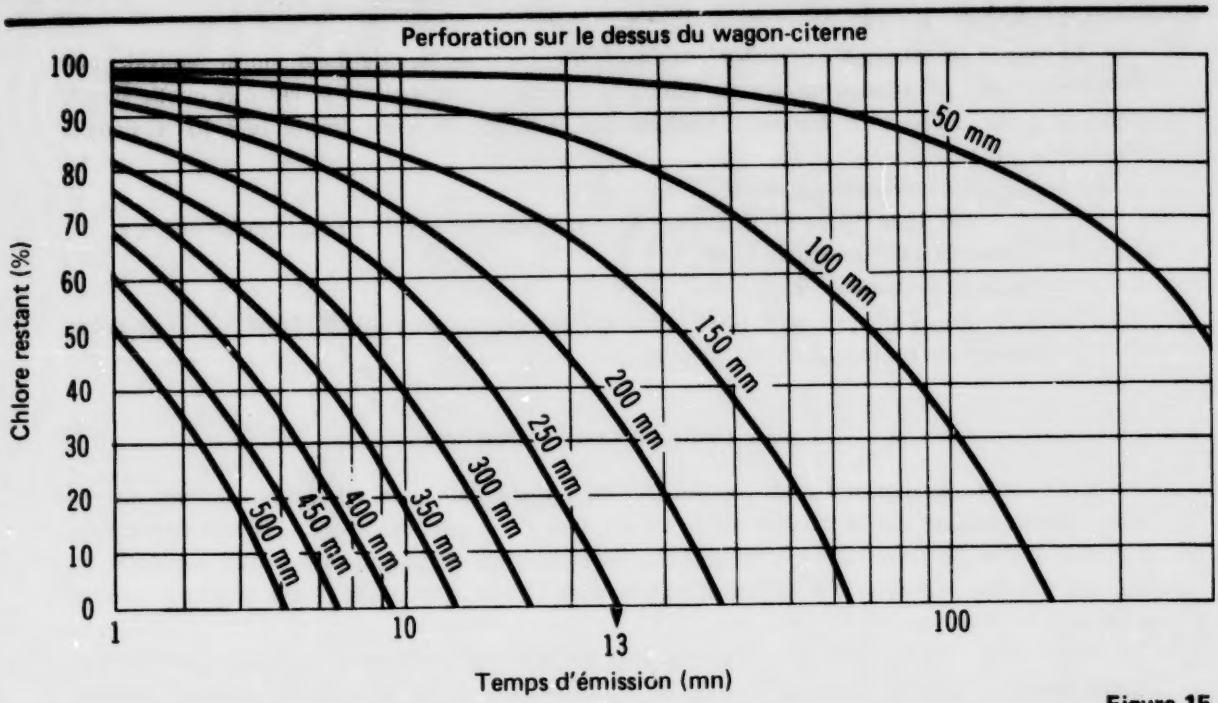
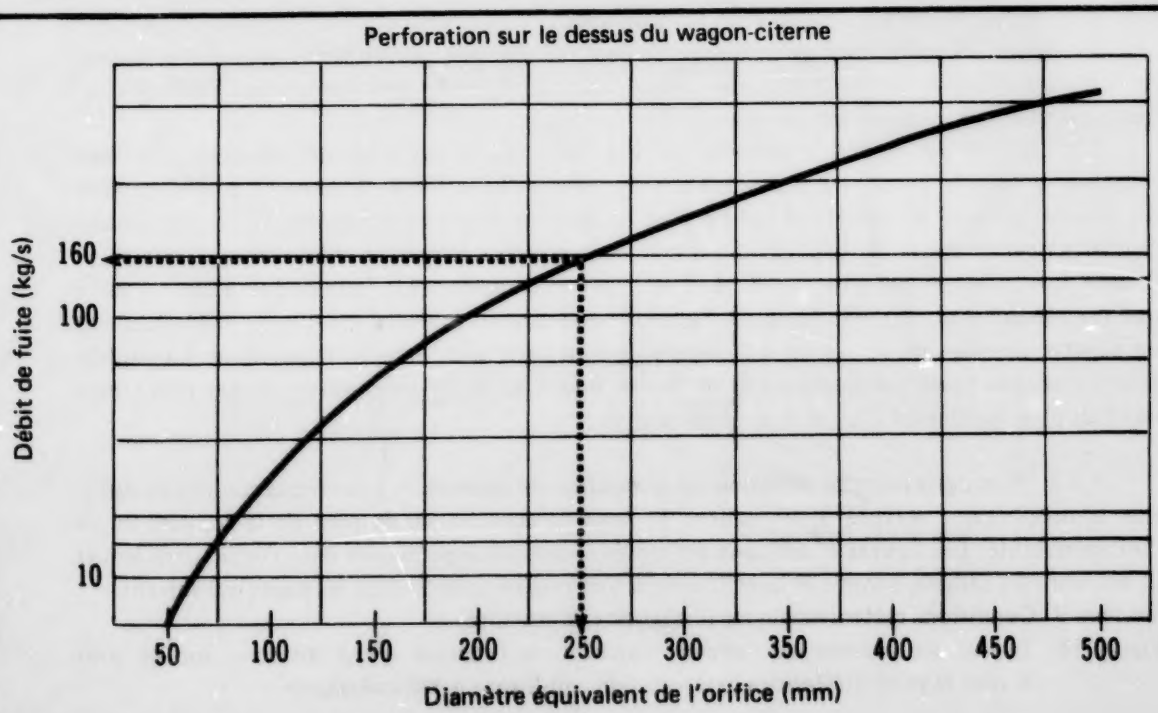


Figure 15

CHLORE — **DÉBIT DE FUITE/DIAMÈTRE DE L'ORIFICE**



Étape 2 Calcul du débit-volume de fuite.

Se servir de la figure 13. Si D = 150 mm, le débit instantané = 450 l/s.

PROBLÈME B

Le wagon décrit en A est perforé au-dessus du niveau du liquide. Le diamètre équivalent de l'orifice est de 250 mm. Combien de temps la citerne mettra-t-elle à se vider et quelle sera le débit de fuite si l'on pose comme hypothèse que la température est constante à 40 °C dans la citerne (le pire scénario)?

Étape 1 Calcul de la durée du vidage.

Se servir de la figure 14. Si D = 250 mm, la citerne se vide en 13 minutes environ.

Étape 2 Calcul du débit-masse de fuite.

Se servir de la figure 15.

Si D = 250 mm et si la température est constante à 40 °C (voir 5.2.1), le débit instantané est invariable à 160 kg/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. – Le chlore liquide, transporté dans une citerne sous pression, est extrêmement volatil. S'il se déverse sur le sol ou dans l'eau, par temps doux, la vaporisation est si rapide qu'on la considère «instantanée». Pour désigner cette émission subite, on parle de bouffée. C'est le seul type d'émission de chlore dans l'atmosphère dont il sera question dans les paragraphes qui suivent.

Pour évaluer les teneurs en vapeurs du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) dans l'atmosphère des vapeurs. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein de la bouffée; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le Manuel d'introduction Enviroguide.)

La figure 16 schématise la diffusion d'une bouffée émise par un point source. Le modèle de diffusion réduit la nappe de liquide déversé à un point source instantané dont l'émission est égale à la quantité totale de liquide déversé.

L'utilisation du modèle d'émission en bouffée dans le cas d'un déversement de chlore entraîne, il faut le noter, une surévaluation du danger: en effet, seulement 25 p. 100 environ du liquide déversé se vaporisent subitement en bouffée (Howerton, 1969). Le lecteur notera également qu'un nuage de vapeurs de chlore émis par une nappe de chlore froid se comporte comme une masse de gaz plus lourd que l'air (2,4 fois la masse volumique de l'air à 20 °C) parce que ces vapeurs sont froides. Aussi est-il possible que dans les minutes qui suivent le déversement on observe des vapeurs au ras du sol, concentrées en particulier dans les dépressions. La modélisation classique basée sur les formules de Gauss tend à présenter les bouffées de gaz plus lourds que l'air plus étroites qu'elles ne le sont en réalité.

5.3.2 Nomogrammes de diffusion de la bouffée de vapeurs. – Les nomogrammes de diffusion atmosphérique servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Tableau 9 Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Figure 18 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories de conditions météorologiques

Figure 16

CHLORE — **FORMATION D'UNE BOUFFÉE DE VAPEURS**

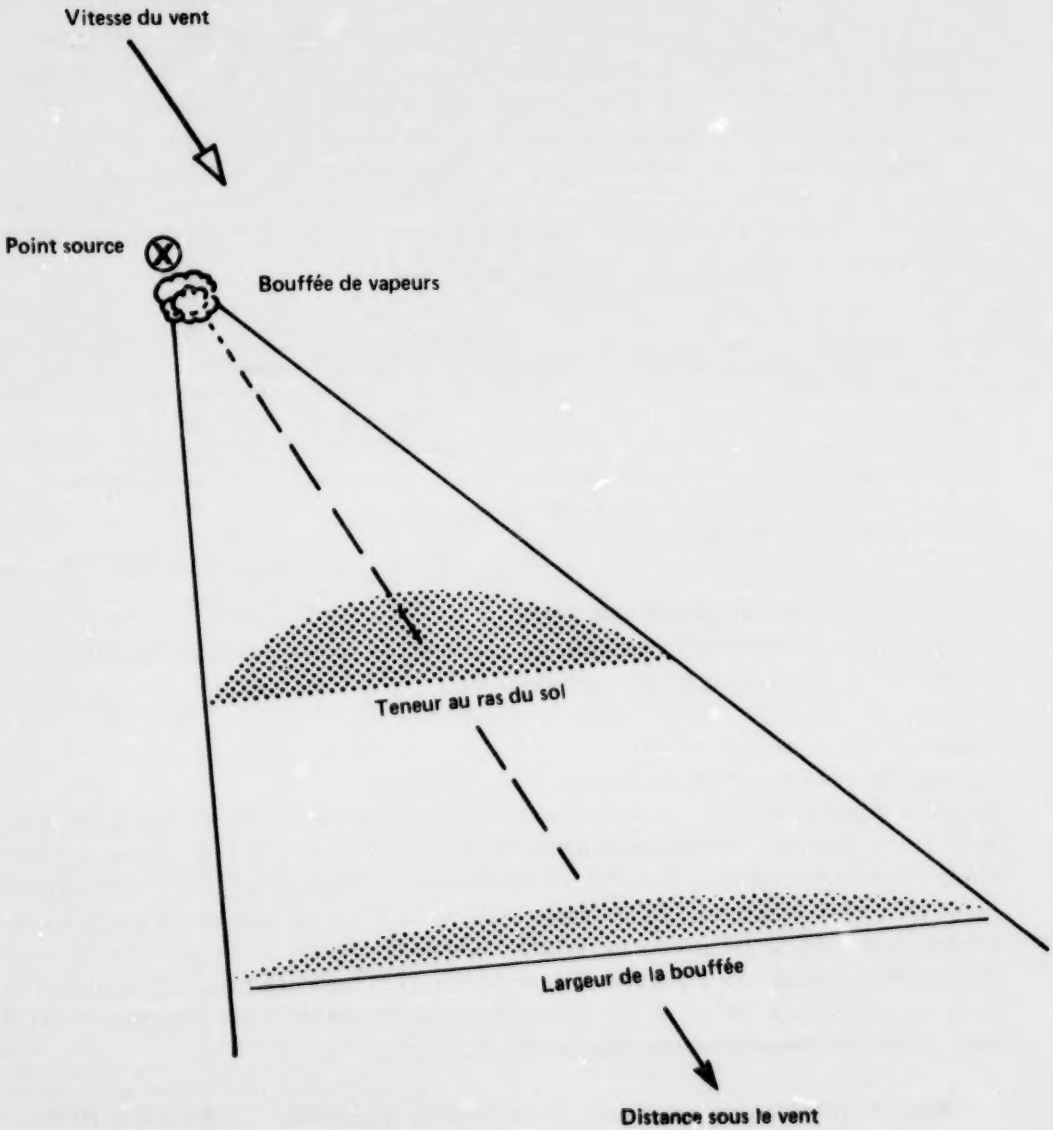


Tableau 10 Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse
Figure 20 Distance parcourue par la bouffée, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

La figure 17 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. – La figure 18 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories D et F de conditions (météorologiques) de stabilité. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le Manuel d'introduction Enviroguide. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée au niveau du sol le long de la médiane de la bouffée schématisée. La catégorie F est la moins propice à la diffusion de la bouffée; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 9) avant d'utiliser la figure 18.

Tableau 9
Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (~ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	Valable pour toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 18, si l'on possède les données suivantes:
Masse de vapeurs émises (m_e) (= masse de liquide déversé)
Vitesse du vent u, en m/s;
Catégorie de conditions (météorologiques) de stabilité;
Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la *Threshold Limit Value*® (g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (g/m^3), sauf s'il s'agit de vapeurs ininflammables, auquel cas il faut opter pour 10 x TLV®. (Pour convertir en g/m^3 la TLV®, utiliser la figure 19.)

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite «relativement réaliste» au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.2 Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse. – Le tableau 10 présente des valeurs de la demi-largeur maximale de la bouffée (L/2)max. pour une plage de valeur m_e, en fonction des conditions de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le Manuel d'introduction Enviroguide, en supposant une teneur

Figure 17

CHLORE — **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**

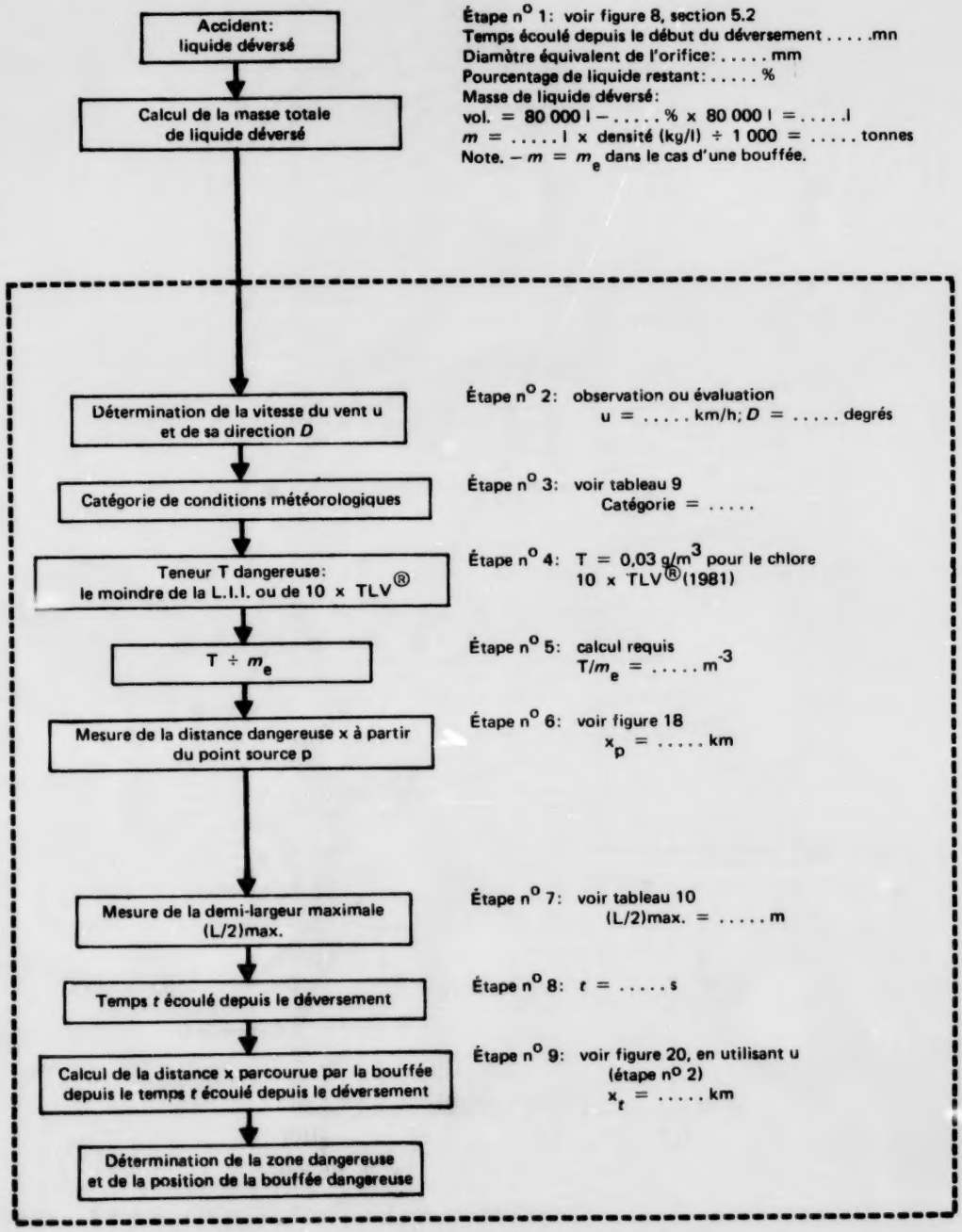


Figure 18

CHLORE

TENEUR UNIFORMISÉE EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

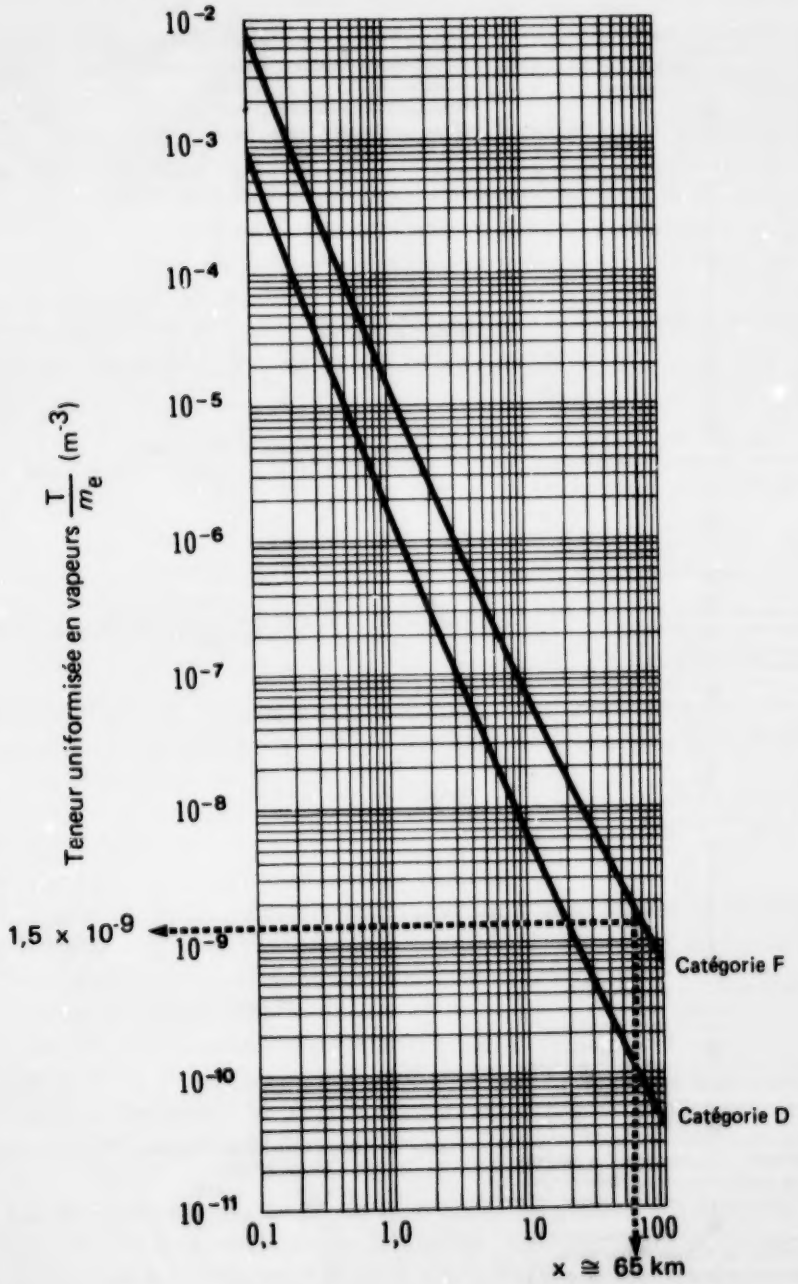
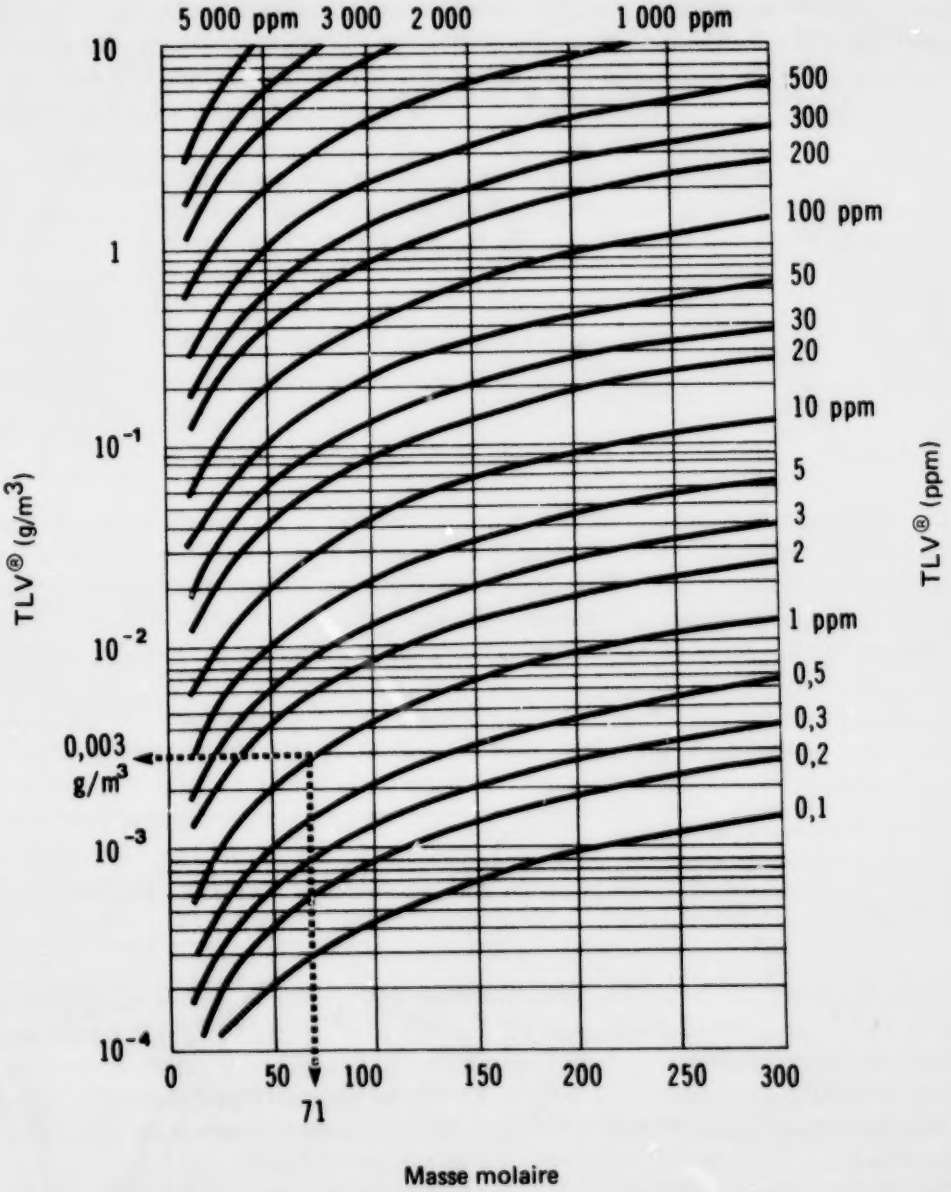


Figure 19

CHLORE — CONVERSION EN g/m^3 DE LA TLV®



Chlore. – Masse molaire = 71; TLV® = 1 ppm = 0,003 g/m^3

Remarque. – Données valables pour une température de 25 °C et 101,3 kPa de pression.

Tableau 10
Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse

Catégorie de stabilité D			Catégorie de stabilité F	
Vapeurs émises (tonnes)	(L/2)max. (mètres)		Vapeurs émises (tonnes)	(L/2)max. (mètres)
950	4 000 (98,8 km)*		45	1 860 (99,5 km)*
900	3 920		25	1 450
800	3 750	m_e = 20 tonnes →	20	1 315
700	3 560		15	1 165
600	3 360		10	980
500	3 130		7,5	865
400	2 875		5	730
300	2 580		2,5	540
200	2 205		1,5	435
100	1 695		1	375
75	1 515		0,75	335
50	1 300		0,5	285
25	1 000		0,25	220
20	916		0,1	150
15	820		0,05	115
10	705		0,01	60
7,5	640			
5	550			
2,5	425			
1,5	350			
1	305			
0,75	270			
0,5	235			
0,025	180			
0,1	130			
0,05	100			
0,01	55			

* Les valeurs de demi-largeur valent jusqu'à cette distance.
Note. – Les données ci-dessus valent pour une teneur de 0,03 g/m.
Exemple. – Pour une masse de 20 tonnes de vapeurs émises, la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse est de 1 315 mètres.

dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® attribuée au chlore (soit 10 x 0,003 g/m^3 = 0,03 g/m^3). La demi-largeur de la bouffée dangereuse représente la demi-largeur du nuage de vapeurs de chlore, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV®. Le tableau 10 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,03 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesse du vent s'étend de 1 à 30 m/s. Par ailleurs, l'éventail de masses de vapeurs émises, dans le tableau 10, va de 0,01 à 950 tonnes. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 117 500 kg (118 tonnes). Le tableau 10, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses 8 fois plus considérables.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Le tableau 10 comporte un éventail de masses de vapeurs émises qui va de 0,01 à 45 tonnes pour des conditions de catégorie F. Ainsi, pour la catégorie F, le tableau 10 fournit des chiffres calculés en fonction de masses représentant environ 40 p. 100 du poids utile d'un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La masse de vapeurs émises étant connue, de même que la catégorie de stabilité, choisir la valeur la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante. Si aucune valeur n'est suffisamment proche, déterminer par interpolation m_e et (L/2)max. (Voir aussi l'exemple qui accompagne le tableau 10.)

5.3.2.3 **Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé.** – La figure 20 indique la distance x parcourue par la bouffée après un temps t de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse du vent u et le temps t de déplacement de la bouffée étant connus, la distance x_t parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 **Exemple de calcul.** – L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur se serve de données connues ou observables.

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de chlore liquide ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse m de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Déterminer la vitesse u du vent et sa direction.
Si u = 7,5 km/h, u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s.
Direction = 315° ou N.-O. (d'où souffle le vent).

Étape 3 Déterminer la catégorie de stabilité (tableau 9).
Si u < 11 km/h et s'il fait nuit, catégorie = F.

Étape 4 Déterminer la teneur T dangereuse limite.
Opter pour la valeur la moindre entre 10 x TLV® et la limite inférieure d'inflammabilité; dans le cas présent les vapeurs ne sont pas inflammables, donc:
$T = 10 \times TLV® = 0{,}003\ g/m^3$.

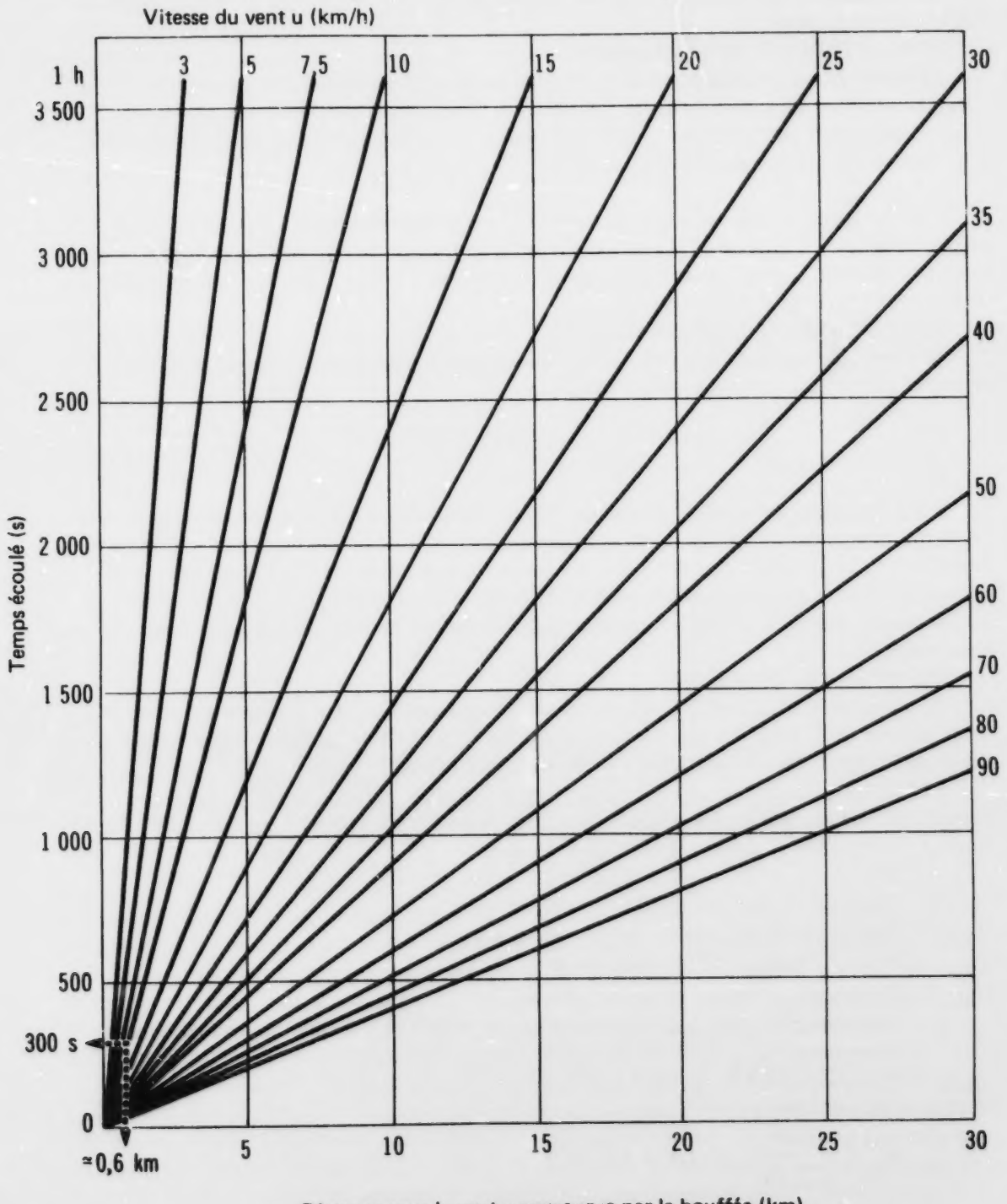
Étape 5 Calculer T/m_e

$$m_e = \frac{0{,}03}{2 \times 10^7} = 1{,}5 \times 10^{-9}\ m^{-3}$$

Figure 20

CHLORE

DISTANCE PARCOURUE PAR LA BOUFFÉE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 6 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p de la bouffée.
Voir figure 18. Pour une catégorie F de conditions météorologiques,
Si $T/m_e = 1{,}5 \times 10^{-9}\ m^{-3}$, $x \simeq 65$ km.

Étape 7 Calculer la demi-largeur maximale (L/2)max. de la bouffée dangereuse.
Se servir du tableau 10. La masse de vapeurs émises étant de 20 tonnes, pour la catégorie de stabilité F, (L/2)max. = 1 315 m.

Étape 8 Déterminer le temps écoulé depuis le début du déversement.
$t = 5$ mn $\times$ 60 = 300 s.

Étape 9 Calculer la distance sous le vent x parcourue par la bouffée depuis le début du déversement.
Se servir de la figure 20. Si $t = 300$ s et u = 7,5 km/h, $x_t = 0{,}6$ km (plus précisément: $x_t = ut = 2{,}1$ m/s $\times$ 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 10 Schématiser la zone dangereuse.
Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse (1 315 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir du point source (65 km) et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 21).
Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 22.
Note. – Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, la bouffée a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 515 minutes avant que la bouffée franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 65 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Déversé dans l'eau, le chlore liquide s'enfonce et entre en ébullition, produisant un mélange de chlore gazeux, d'hydrate de chlore, d'acide hypochloreux et d'acide chlorhydrique et dégageant un nuage de vapeurs toxiques. Bien que le chlore soit assez peu soluble dans l'eau, il est susceptible de causer une grave pollution de l'eau, étant donné sa toxicité même à de faibles teneurs. Des tests ont montré que l'eau de mer a une demande de chlore d'environ 1,5 mg/l/30 mn, cette demande doublant après 2 jours. L'ajout de chlore à l'eau de mer a un net effet sur le pH, l'EL, l'alcalinité et la toxicité. La dilution entraîne l'élimination du chlore par suite des réactions d'oxydo-réduction et une baisse de 2 p. 100 de l'alcalinité (JHM, 1977).

Aucune modélisation n'a été effectuée pour les réactions complexes de transfert de chaleur et de masse qui se produisent lorsque le chlore liquide est déversé dans l'eau. En l'absence d'une information plus valide, il est proposé de considérer que la moitié de la masse de tout chlore déversé se dissout dans le plan d'eau. Étant donné que le point d'ébullition du chlore est très bas et que sa solubilité dans l'eau est relativement faible, cette hypothèse surestime vraisemblablement le risque de pollution de l'eau.

Lorsque le chlore se dissout dans l'eau, il y a mélange et le polluant est dilué. Le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les rivières, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans une étendue d'eau calme, il s'effectue par diffusion moléculaire.

Figure 21

CHLORE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

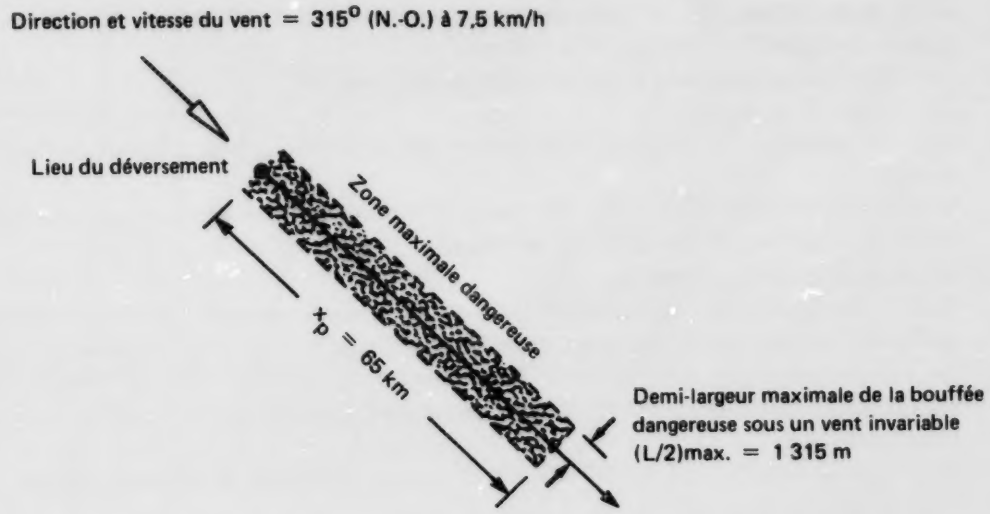
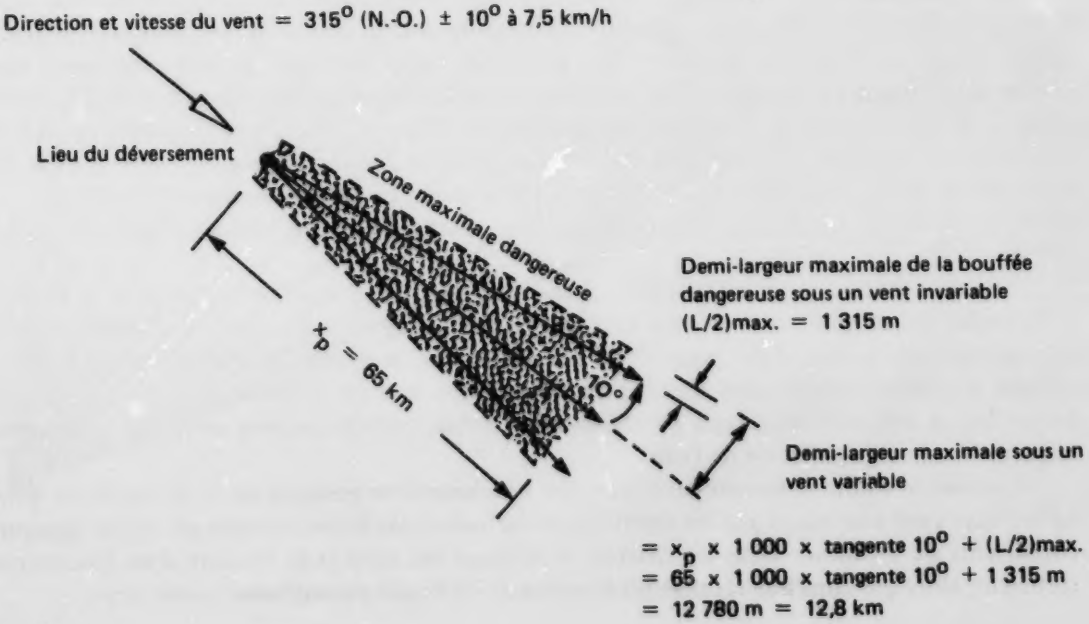


Figure 22

CHLORE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME



Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'une rivière en aval d'un lieu de déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Comme la densité relative du chlore est supérieure à celle de l'eau, la teneur maximale devrait être observée près du fond.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux rivières dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le Manuel d'introduction Enviroguide.)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans une étendue d'eau calme, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de diffusion du polluant dans l'eau. – Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant dans les cours d'eau non soumis aux marées et dans les étendues d'eau calme.

A. – Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 24 Distance en fonction du temps pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement

Figure 25 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau)

Figure 26 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement

Figure 27 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente pour différentes valeurs de temps écoulé

Figure 28 Delta* en fonction de alpha pour différentes masses de liquide déversé

Figure 29 Teneur maximale en fonction de delta pour des sections mouillées de différentes surfaces

B. – Étendues d'eau calme ou lacs (au repos)

Figure 30 Volume d'eau en fonction du rayon de la zone dangereuse pour différentes profondeurs du lac (hauteurs d'eau)

Figure 31 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse pour différentes masses de liquide déversé

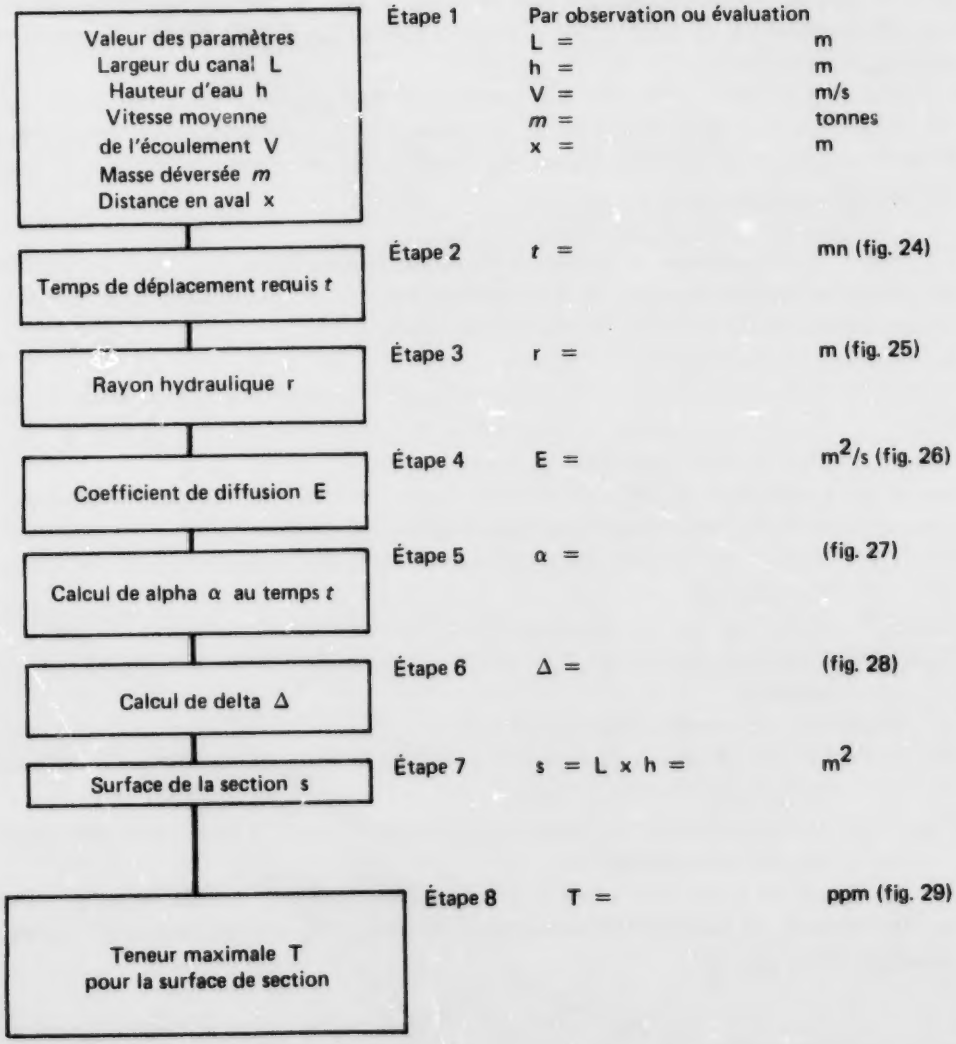
La figure 23 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en un point en aval après un déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

*Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 23

CHLORE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT DANS UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 24 Distance en fonction du temps. – Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 25 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 25 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 26 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. – Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 27 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. – Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 28 Delta en fonction de alpha. – Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 29 Teneur maximale en fonction de delta. – Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)

Figure 30 Volume d'eau en fonction du rayon. – L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible (dans l'eau), de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur h égale à la hauteur d'eau à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 24. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point en aval où la teneur est mesurée.

Figure 31 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. – Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant dans un cours d'eau non soumis aux marées. – Vingt tonnes de chlore liquide ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s.

Figure 24

CHLORE

DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS

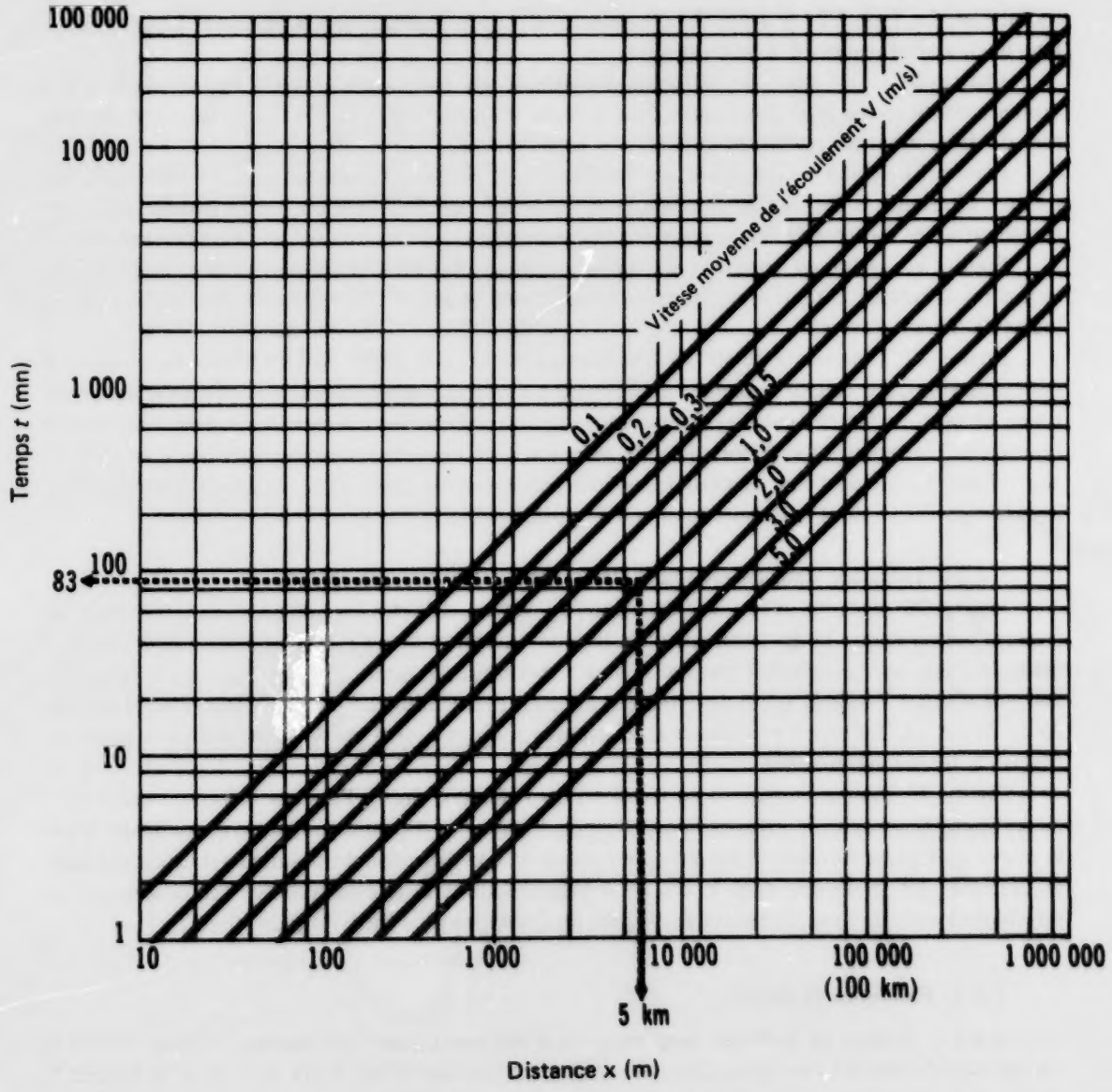


Figure 25

CHLORE

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

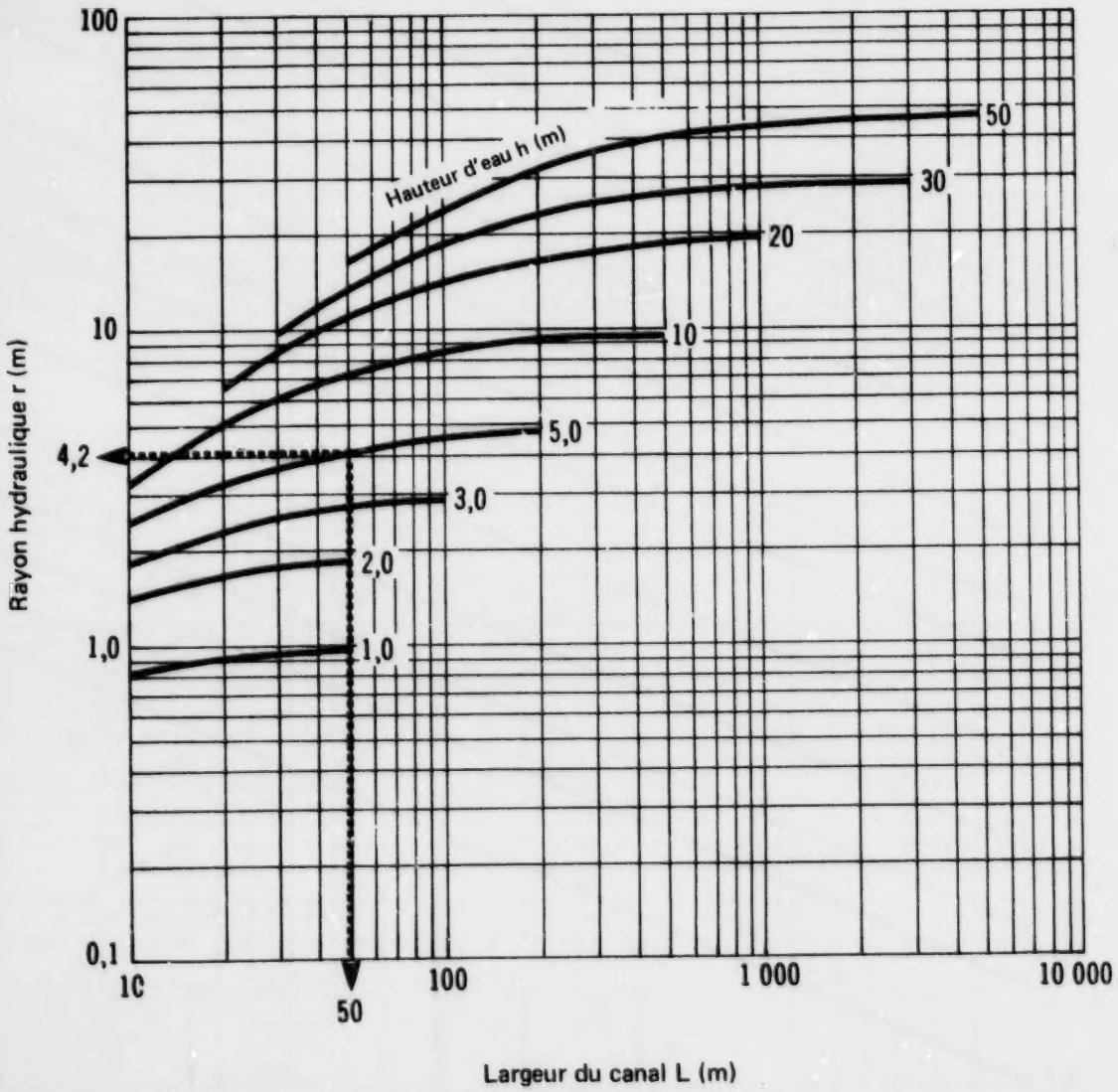


Figure 26

CHLORE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

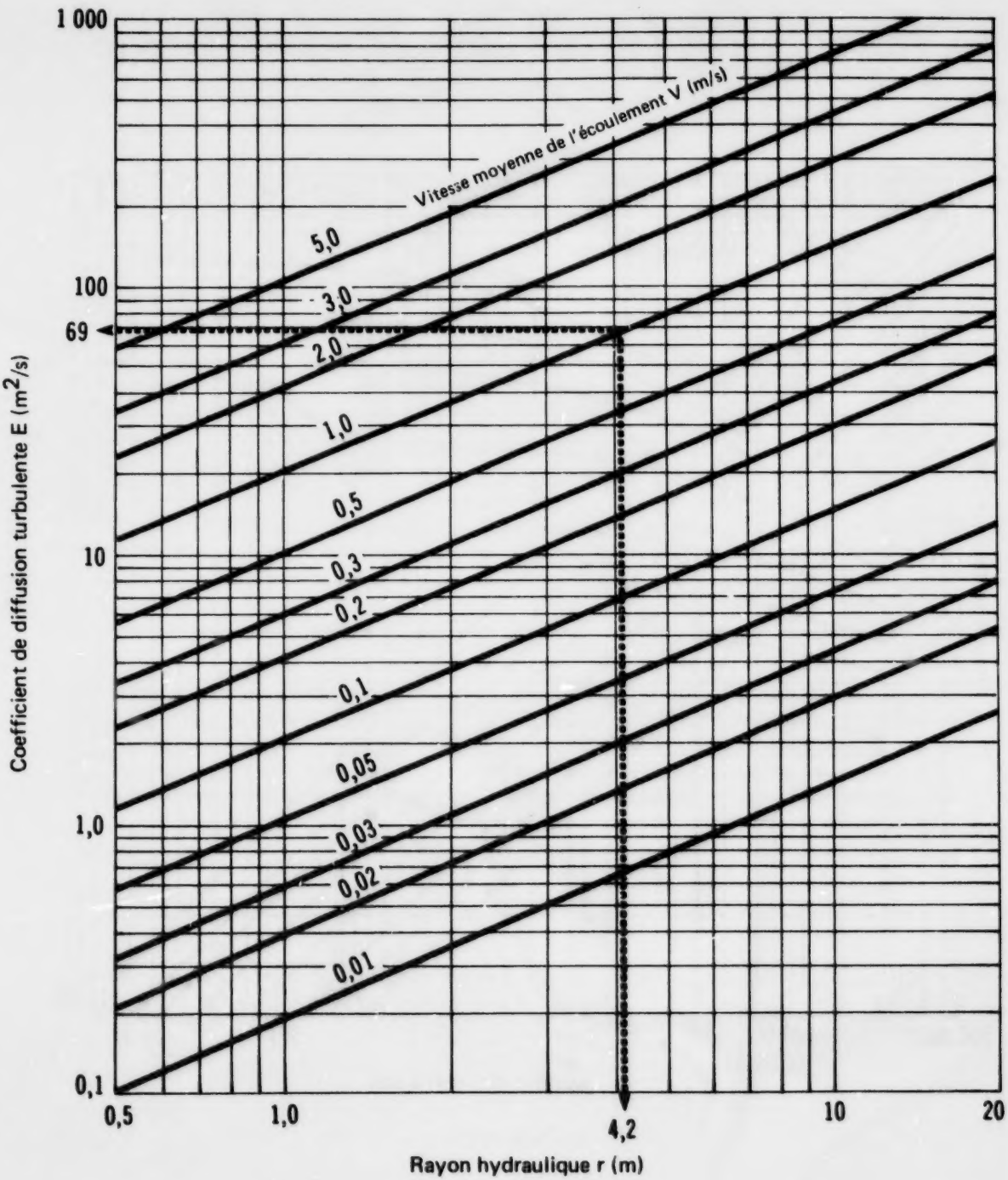


Figure 27

CHLORE

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

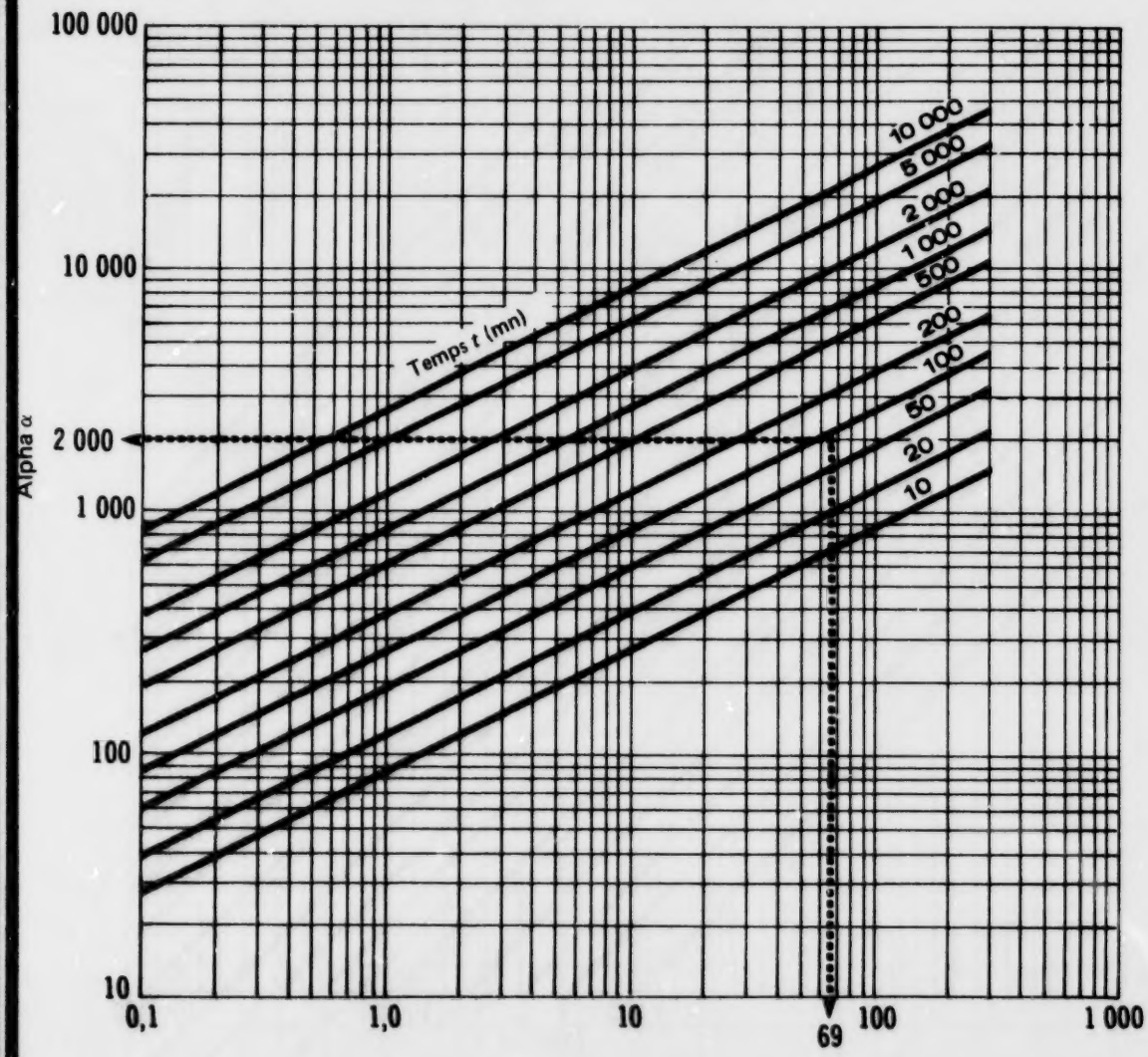


Figure 28

CHLORE

DELTA
EN FONCTION DE ALPHA

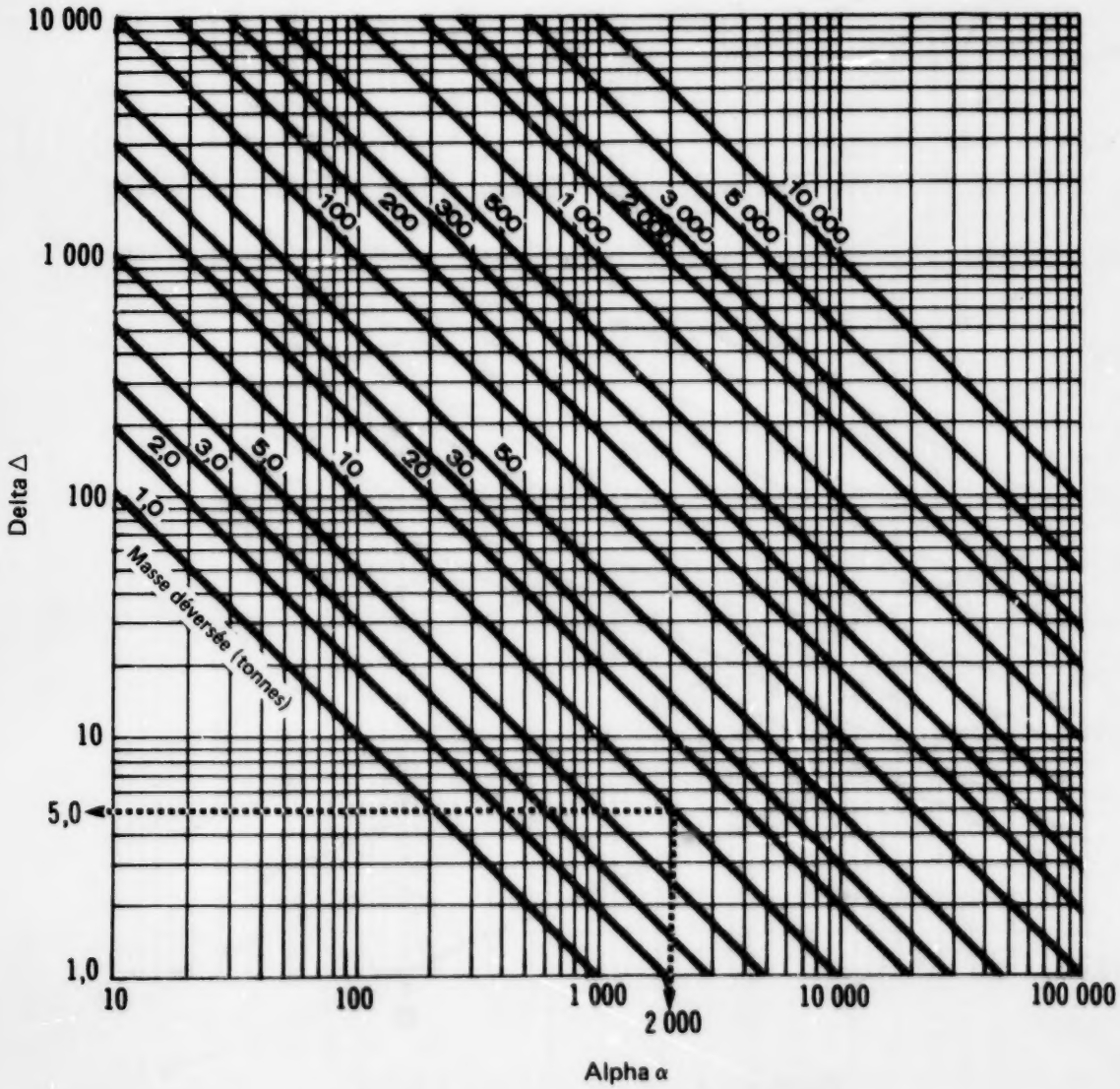


Figure 29

CHLORE

TENEUR MAXIMALE
EN FONCTION DE DELTA

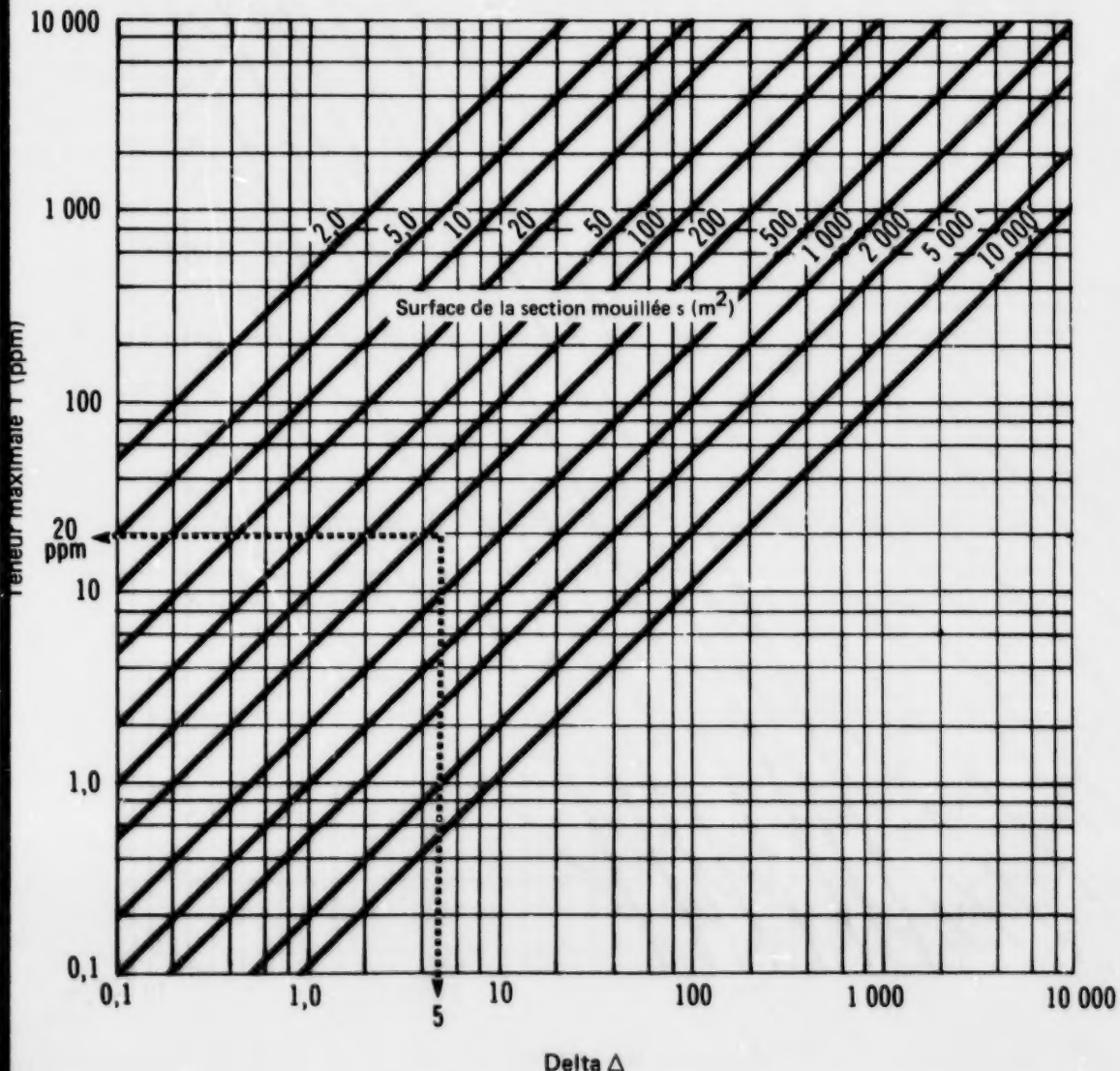


Figure 30

CHLORE

VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

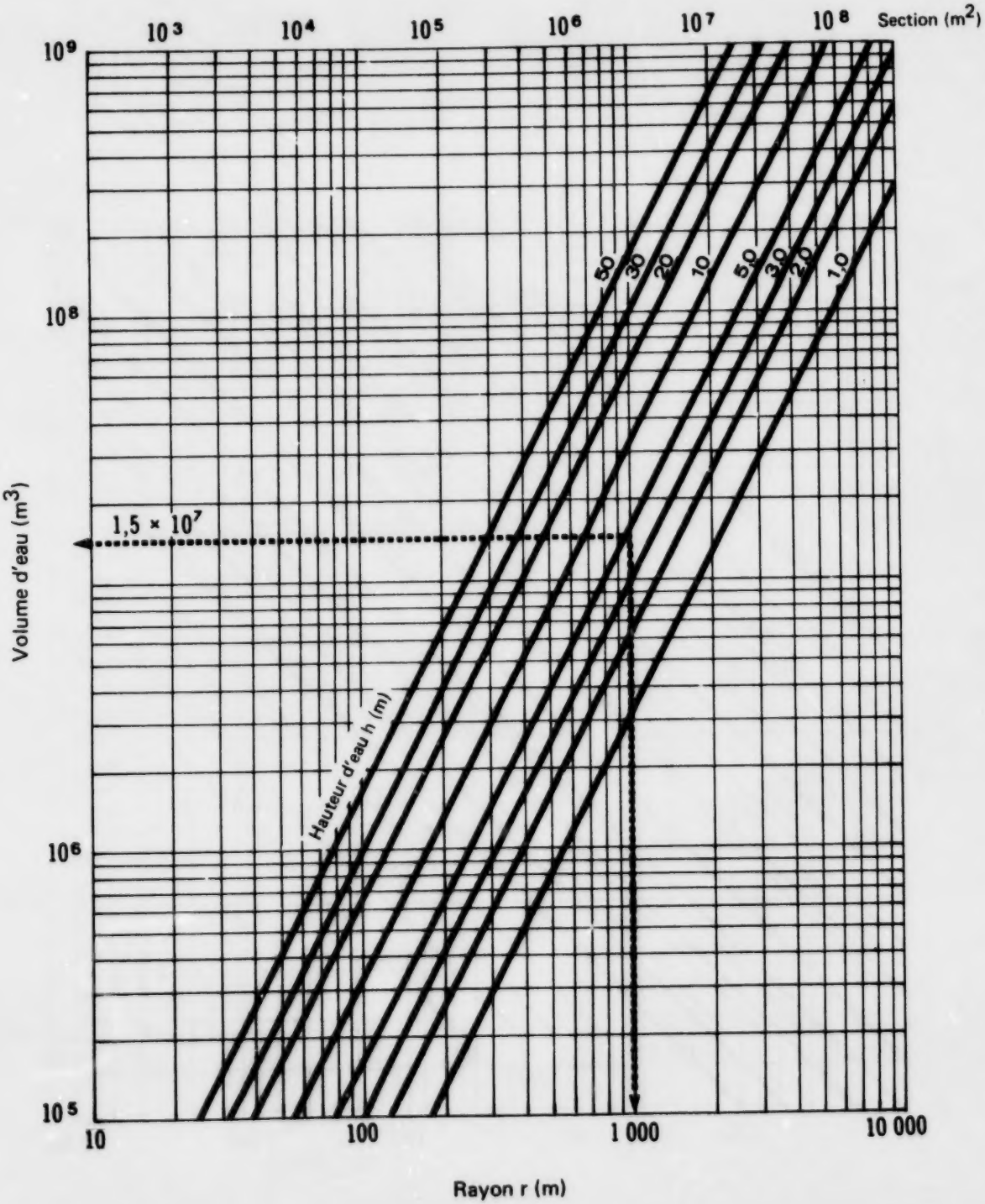
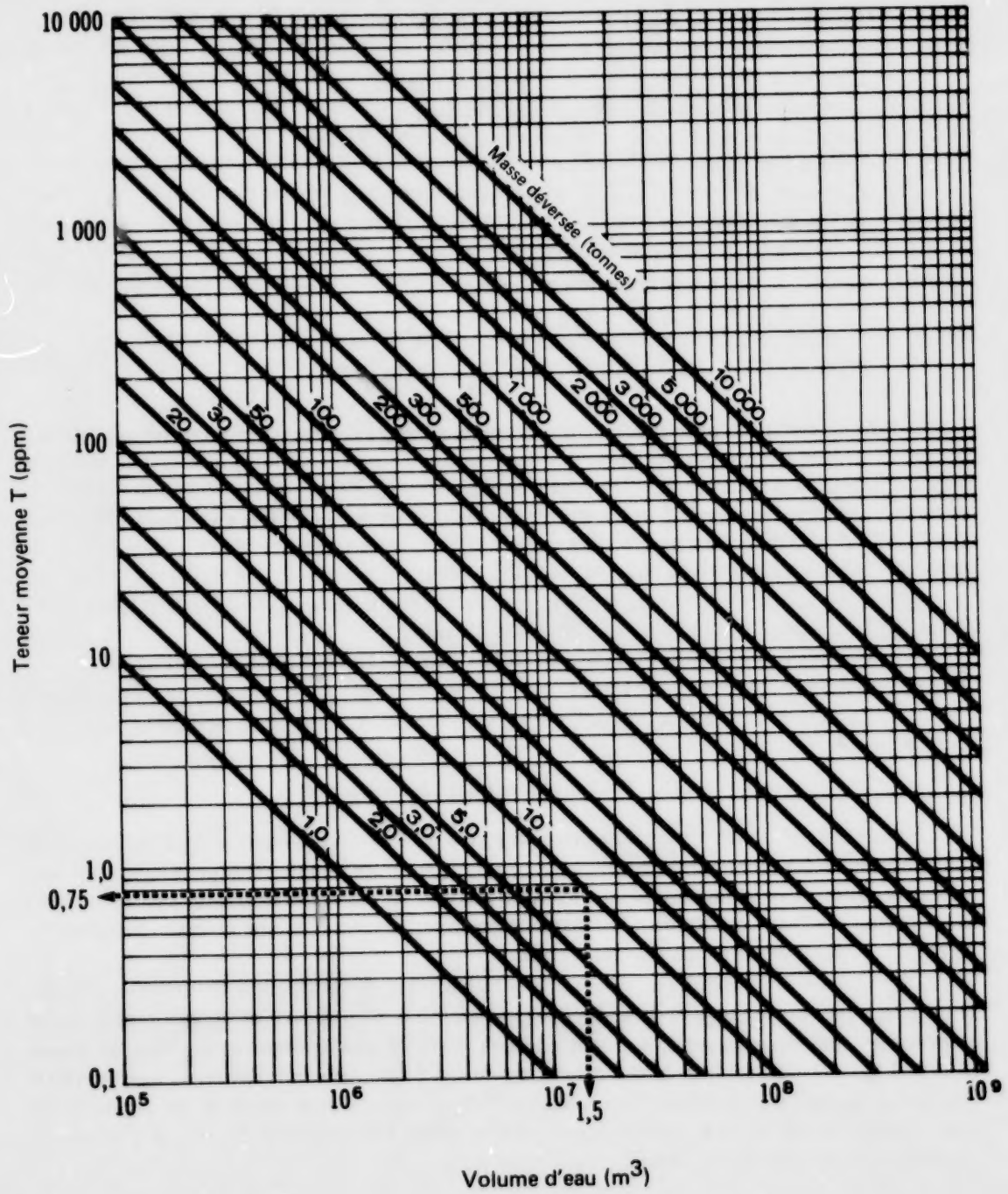


Figure 31

CHLORE

TENEUR MOYENNE EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau, en supposant que 50 p. 100 du chlore est dissous?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s; x = 5 000 m;
m = 10 tonnes de chlore dissous.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.
Comme x = 5 000 m et V = 1 m/s, t = 83 mn (fig. 24).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.
Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (fig. 25).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.
Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (fig. 26).

Étape 5 Déterminer alpha.
Comme E = 69 m^2/s et t = 83 mn, α = 2 000 (fig. 27).

Étape 6 Déterminer delta.
Comme α = 2 000 et m = 10 tonnes, Δ = 5 (fig. 28).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.
s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.
Comme Δ = 5 et s = 250 m^2, T = 20 ppm (fig. 29).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos). – Vingt tonnes de chlore liquide ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1 000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point, en supposant que 50 p. 100 du chlore est dissous?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
h = 5 m; r = 1 000 m; m = 10 tonnes de chlore dissous.

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.
Comme r = 1 000 m et h = 5 m, vol. = 1,6 x 10^7 m^3 environ (fig. 30).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.
Comme vol. = 1,6 x 10^7 m^3 et m = 10 tonnes, T = 0,72 ppm (fig. 31).

5.5 Comportement dans la subsurface

En général, le chlore est expédié et emmagasiné à l'état de gaz liquéfié dans des récipients sous pression. Si un déversement accidentel se produit, le chlore liquide est exposé aux conditions atmosphériques et se vaporise rapidement. Si la quantité de chlore déversée est petite, le risque de pollution de l'eau souterraine n'est pas très grand; en revanche, si une quantité considérable de chlore est déversée, le risque devient sérieux.

Le problème se complique en cas de précipitation avant la vaporisation complète de la nappe de chlore déversé ou pendant que de grandes quantités de vapeurs se concentrent dans les endroits les plus bas. La précipitation s'acidifie, le chlore se dissolvant et formant de l'acide chlorhydrique et de l'acide hypochloreux. La solution migre dans le sol et peut, dans certaines conditions, atteindre et acidifier l'eau souterraine. Tout dépend alors des caractéristiques du sol et de l'emplacement de l'eau. Aucun nomogramme relatif à la migration dans le sol n'a donc été préparé en ce qui concerne le chlore.

6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau

6.1.1.1 Situation au Canada. – Les teneurs en chlore de l'eau naturelle utilisée comme eau de boisson n'ont pas fait l'objet d'une réglementation, mais les trihalométhanes ne doivent pas excéder 0,35 mg/l. L'objectif visé est de moins de 0,005 mg/l (Directives/Canada/Eau 1978). L'objectif visé pour le chlorure est de 200 mg/l (*Objectifs de gestion de l'eau*, 1978).

6.1.1.2 Situation ailleurs dans le monde. – Aux États-Unis, en France et en Bulgarie, la limite pour le chlore dans l'eau domestique est de 250 mg/l. En Tanzanie, elle est de 800 mg/l. Pour l'OMS (Organisation mondiale de la santé), secteur Europe, cette limite est de 600 mg/l. Pour l'OMS, secteur international, les limites acceptables et admissibles sont respectivement de 200 mg/l et de 600 mg/l (Jorgensen, 1979).

6.1.2 Qualité de l'air. – L'Ontario a prescrit une limite d'émission de 300 $\mu g/m^3$ (*Ontario E.P. Act*, 1971).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux U.S.A. – La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) au chlore correspond à une teneur de moins de 1 mg/l (RTECS, 1979). Une limite de 3 $\mu g/l$ a été recommandée pour la protection des organismes dulçaquicoles, la limite pour une exposition de courte durée, soit au maximum 1 demi-heure sur une période de 24 heures, étant de 50 $\mu g/l$ (WQC, 1972).

6.2.2 Mesure de la toxicité

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
2,2	(inconnue)	Tassergal	Mort; épine dorsale brisée	James River (Virginia)	Bellanca, 1977
0,3	2	Truite	Mort		WQC, 1963
1,0	1	Truite	Mort		WQC, 1963
0,8	4	Chatte de l'est	Mort		WQC, 1963
0,07 (Chlore total résiduaire)	96	Ictalure (alevins)	Teneur létale 50; altération grave de l'absorption du sodium par les ouïes	Test biologique avec écoulement continu	Hammond, 1979

0,23; 0,28 (chlore total résiduaire)	30 mn	Méné émeraude (jeunes et adultes)	Teneur létale 50	Eau du lac Supérieur; 25 °C	Fandrei, 1979
0,2	(inconnue)	Poisson	Dose létale moyenne		Jorgensen, 1979
0,17	24	Poisson doré	TLm	Chloration intermittente, 17 à 25,5 °C	Dickson, 1977
0,44	96	Crapet arlequin	Teneur létale 50; détresse	Chloration intermittente, 15 °C	Bass, 1977
0,1	96	Tête-de-boule	TLm		Brungs, 1973
0,88	1	Perche	Teneur létale 50		Brungs, 1973
0,74	1	Achigan à grande bouche	Teneur létale 50		Brungs, 1973
0,08	168	Truite arc-en-ciel	TLm		WQC, 1963
0,08	18	Omble de fontaine	Temps moyen de survie		WQC, 1963
3,0	24	Crapet vert	Mortalité de 28 p. 100		WQC, 1963
0,15 à 0,2	12 à 16 j	Carpe	Mortalité de 25 p. 100		WQC, 1963

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,5	(inconnue)	*E. Coli* (hydrique)	Lésions cellulaires; respiration diminuée		Camper, 1979
1,45	2	Protozoaires	Mortalité de 53 p. 100 (3 additions de Cl_2); Mortalité de 94 p. 100 (7 additions de Cl_2)	Chloration intermittente; Douglas Lake (Michigan)	Dickson, 1977
0,5	72	Daphnées	Mort	Douce	WQC, 1963

Toxicité pour les invertébrés

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,5	100	Larves de clam	Mortalité de 100 p. 100		Hall, 1981
8 (chlore total résiduaire)	(inconnue)	Sangsue	Respiration diminué		Osborne, 1980
1	3	Nymphe sp.	Létalité	Dure	EPA 440/9-75-009
1	(inconnue)	Petits crustacés	Mort		WQC, 1963
2,5	(inconnue)	Moules, escargots, éponges	Mort		WQC, 1963

Toxicité pour le zooplancton

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,019	4	*Keratella cochlearis* (rotifer)	TLm		Hall, 1981
0,49	96	*Daphnia pulex*	Teneur létale 50		Hall, 1981
0,017	46	*Daphnia magna*	Teneur létale 50		Hall, 1981

Toxicité pour les amphibiens

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
2	12	Têtards de grenouille	Létalité	24 °C	Pimental, 1971
3,8	48	Têtards	Aucun mort		WQC, 1963

Toxicité pour la microflore

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,25 à 3,0		Algues	Contrôle		WQC, 1963
56 à 100		Synura	Mort		WQC, 1963

6.2.2.2 Toxicité en eau salée

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
208 µg/l	1	Saumon coho	Teneur létale 50	13 °C	Stober, 1980
15 p. 100 d'effluent (vol./vol.)	(inconnue)	Perche argentée	Toxicité aiguë	Pudget Sound (Washington) Rejet d'eau usées	Dinnel, 1979
0,5 p. 100 d'effluent	(inconnue)	Sole de Douvres	Toxicité chronique	Pudget Sound (Washington) Rejet d'eau usées	Dinnel, 1979
0,002	(inconnue)	Saumon coho	Évitement		Stober, 1978
0,14	24	*Ocean spot*	TLm; stress	York River (Virginia)	Bellanca, 1977
1 à 10	(inconnue)	Perche argentée (poisson marin)	Irritation bénigne à forte		WQC, 1963

Toxicité pour les invertébrés

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,22	96	Crevettes roses	TLm	York River (Virginia)	Bellanca, 1977

< 0,005	48	Copépodes, huîtres larves de clam	TLm; baisse de la production des huîtres	York River (Virginia)	Bellanca, 1977 Bellanca, 1977
10	4 h/j	Berniques	Mort		WQC, 1963
0,01 à 0,05	(inconnue)	Huîtres	Activité réduite		WQC, 1963
1	(inconnue)	Huîtres	Arrêts du pompage		WQC, 1963

Toxicité pour les plantes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,5	(inconnue)	Diatomées	Choc thermique; mort	39 °C	Maggi, 1980
0,5	(inconnue)	Flagellés	Retards dans le développement; choc thermique	24 °C	Lassus, 1980
4	(inconnue)	*Pavlova lutheri*	Dose létale moyenne		Videau, 1979
0,6	(inconnue)	*Phaeodactylum tricornutum*	Croissance ralentie ou arrêtée		Videau, 1979
5	120	Varech géant	Photosynthèse diminuée de 10 à 15 p. 100 après 2 j et de 50 à 70 p. 100 après 5 à 7 j		WQC, 1963

6.2.3 Études sur le milieu aquatique

6.2.3.1 Eau douce. – Des études faites sur des rivières en Virginie ont montré que l'effluent d'eaux résiduaires chlorées est très toxique pour le milieu aquatique, provoquant des destructions massives de poissons. En général, la toxicité pour les espèces aquatiques est fonction du chlore disponible dans l'effluent, qui à son tour est fonction de la dose de chlore et de la demande de chlore.

La chloration causée par les centrales de production d'énergie a des répercussions potentielles nuisibles sur le phytoplancton (par exemple les algues, producteurs primaires de la chaîne alimentaire) et le zooplancton (au niveau du consommateur primaire de la chaîne alimentaire). Chez les populations de ces deux organismes, le pourcentage de mortalité est semblable parce que leur période de reproduction s'exprime en jours ou en heures alors que les invertébrés aquatiques et le poisson ont une période de reproduction qui s'exprime en semaines ou en années (Hall, 1981).

D'autres études ont montré que la dose minimale de chlore nécessaire pour désinfecter l'effluent d'eaux résiduaires peut protéger efficacement les organismes aquatiques pendant les stades critiques de leur vie (Bellanca, 1977).

Une exposition prolongée de l'ictalure tacheté au chlore diminue de façon considérable la pression du sang et les battements du coeur, modifications indicatrices d'un environnement stressant (Hammond et Bishop, 1979).

6.2.3.2 Eau salée. – La toxicité du chlore pour les organismes estuariens semble à peu près la même que pour les organismes d'eau douce (Bellanca, 1979).

Les répercussions des rejets d'eaux usées d'un certain nombre d'usines d'épuration d'eaux usées dans l'eau de mer ont été étudiées. On a constaté de fortes réductions de la longévité du poisson et de la diversité des espèces en aval des exutoires. Aucun poisson n'était trouvé dans l'eau contenant une teneur en chlore total de 0,37 mg/l. L'indice de diversité des espèces était nul à la teneur de 0,25 mg/l. On a constaté que la turbidité avait aussi un impact considérable (Dinnel, 1979).

Une faible chloration provoque des écarts marqués dans la composition des espèces des communautés de phytoplancton marin. Ces écarts dépendent: a) de la composition de ces communautés au moment du stress; b) des caractéristiques morphologiques et systématiques des espèces qui présentent une sensibilité différente au chlore; ce dernier a des répercussions semblables à celles des autres polluants: diminution de la prédominance des diatomées à centre nerveux et prédominance subséquente des diatomées pennées et des microflagellés. De très faibles teneurs en chlore (0,05 à 0,15 mg/l) provoquent des modifications de la composition des espèces (Sanders, 1980).

6.3 Toxicité pour d'autres espèces vivantes

6.3.1 Toxicité pour les mammifères. – La teneur létale minimale en chlore inhalé est de 500 ppm pour 5 minutes (RTECS, 1977).

Des souris de laboratoire sont parvenues à l'âge adulte sans que la consommation d'eau de boisson contenant 100 et 200 mg de chlore disponible par litre n'entraîne d'effets nuisibles.

6.3.2 Toxicité pour les végétaux. – L'eau d'irrigation contenant 50 mg ou moins de chlore résiduaire par litre ne nuit pas à la croissance des plantes terrestres; des teneurs de 100 à 150 mg/l cause des dommages à certaines plantes mais n'en affectent pas d'autres; enfin, des teneurs de 500 à 1 000 mg/l font mourir les cîmes et les racines des plantes (MHSSW, 1976).

Selon Pigulevskaya (1980), le chlore gazeux s'accumule dans les feuilles après avoir pénétré par les stomates. L'ampleur des dommages est fonction de la durée d'exposition, de la teneur en chlore et de la vulnérabilité de l'espèce. Le peuplier et l'érable, par exemple, offrent une résistance moyenne au chlore.

6.4 Études sur les effets toxiques

La toxicité bactérienne du chlore est principalement due à l'acide hypochloreux non dissocié (HOCl). À un pH plus faible, la proportion de HOCl est plus forte et la toxicité augmente; de plus, elle dépend beaucoup de la température, de l'oxygène dissous et du synergisme ou de l'antagonisme des autres matières dissoutes, en particulier l'ammoniac. Le chlore et l'ammoniac forment des chloramines toxiques; le chlore est un peu plus toxique que la monochloramine (OHM-TADS, 1981; EPA-440/9-75-009).

6.5 Dégradation du polluant

6.5.1 Dégradation chimique. – Comme le chlore est très réactif, il n'est pas persistant mais il est finalement réduit en ion chlorure (OHM-TADS, 1981). Des études de chloration effectuées avec des eaux de mer naturelles et artificielles ont montré que dans l'eau de mer les pertes de chlore se produisent en deux phases: une perte initiale rapide suivie par une perte continue à

une vitesse brusquement réduite. La perte initiale atteint un niveau de saturation qui varie fortement selon les échantillons d'eau de mer naturelle et semble reliée à une demande organique réelle. Les pertes s'étendent sur des périodes de 10 jours et sont plus marquées dans l'eau de mer contenant du brome. D'autres études ont indiqué que la perte de chlore est reliée au système chimique du brome dans l'eau de mer. Les transformations du chlore perdu n'ont pas été déterminées (Goldman, 1979).

La présence de la lumière, même à des intensités de seulement quelques pour cent de la lumière solaire du milieu du jour, peut influencer de façon notable la vitesse et le mécanisme de la dissipation du chlore dans l'eau de mer. La lumière augmente la vitesse de dissipation de l'hypobromate formé à partir du chlore additionné. Le bromate est également un produit formé lorsque l'eau de mer chlorée est exposée à la lumière et sa vitesse de formation augmente proportionnellement à l'augmentation de l'intensité lumineuse (Wong, 1980).

6.5.2 Demande biologique en oxygène. – Des études des résidus du chlore ont montré que ceux-ci influent beaucoup sur la demande biologique en oxygène (DBO) pendant une certaine période. On a constaté que des teneurs en chlore de moins de 0,01 ppm supprimaient totalement la DBO (Kaneko, 1980).

6.6 Devenir du polluant et effets à long terme

Aucune bioconcentration n'a été signalée. Néanmoins, d'après les études menées, il faut procéder à une évaluation des risques de bioconcentration, bioaccumulation et bioamplification des composés organiques chlorés à tous les niveaux trophiques (aquatiques) (Hall, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

En plus des études détaillées sur la réponse anthropique à l'exposition au chlore, il existe dans la documentation une quantité considérable d'information sur les effets toxiques de l'inhalation de chlore, observés au cours de tests effectués sur des animaux.

Aucun signe n'indique que le chlore constitue un carcinogène anthropique potentiel; toutefois, des effets mutagènes ont été observés dans le matériel génétique des bactéries.

Le magazine *TOX TIPS*, qui résume les travaux de recherche, ne décrit qu'une seule étude récente de l'exposition prolongée au chlore de 344 rats Fischer, étude qui a commencé en 1981.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition au chlore sont établies en fonction de ses propriétés irritantes. Au Canada, les directives émises par les États provinciaux se conforment à celles de l'ACGIH étatsunienne, sauf dans les cas signalés.

Directive (temps)	Origine	Teneur recommandée	Référence
	Teneurs moyennes pondérées en fonction du temps		
TLV® (8 h)	ACGIH	1 ppm (3 mg/m^3)	TLV, 1983
TWA (8 h)	OSHA	1 ppm (3 mg/m^3)	NIOSH/OSHA, 1981
MIK	URSS	0,3 ppm (1 mg/m^3)	ILO, 1980
MPT	Suisse	0,5 ppm (1 mg/m^3)	ILO, 1980
	Teneurs admissibles pour des expositions de courte durée		
STEL (15 mn)	ACGIH	3 ppm (9 mg/m^3)	TLV, 1983
Plafond (15 mn)	OSHA	1 ppm	NIOSH Guide, 1978
PEL (15 mn)	NIOSH	0,5 ppm (1,5 mg/m^3)	NIOSH Guide, 1978
	Autres aspects de la toxicité pour l'homme		
IDLH	NIOSH	25 ppm (75 mg/m^3)	NIOSH Guide, 1981
Teneur létale min.		873 ppm	RTECS, 1979
Teneur toxique min.		15 ppm	Patty, 1981

Indice de toxicité par inhalation. – L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance à produire un effet nocif à la suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

I.T.I. = 1315,12 x (tension de vapeur en mm Hg)/(TLV® , en ppm)

I.T.I. = 1315,12 (4410/1)

I.T.I. = 5,8 x 10^6

7.2 Données sur les propriétés irritantes

7.2.1 Contact avec la peau (chez l'homme)

Exposition	Effets	Référence
Gaz (forte teneur)	Brûlures autour de la bouche.	Stout, 1935 (NIOSH, 1976)
Liquide	Brûlures cutanées et oculaires.	CHRIS, 1978
Liquide	Engelures.	CHRIS, 1978

7.2.2 Contact avec les yeux (chez l'homme)

Exposition	Effets	Référence
Liquide	Brûlures cutanées et oculaires.	CHRIS, 1978

7.3 Seuil de perception des caractères organoleptiques

7.3.1 Odeur

Odeur caractéristique: suffocante, âcre et irritante, semblable à celle d'un agent de blanchiment (AAR, 1981). Nombre du seuil de perception de l'odeur: 54 446 (AAR, 1981).

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil d'inconfort	Air	15,1 ppm	NIOSH, 1976
Seuil supérieur de reconnaissance	–	5 ppm	AAR, 1981
Seuil moyen de reconnaissance	–	3 ppm	AAR, 1981
Seuil olfactif	–	0,3 - 0,4 ppm	NIOSH, 1976
Seuil olfactif absolu	–	0,314 ppm	AAR, 1981

7.3.2 Goût

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Détection	Eau	0,05 mg/l	ASTM, 1980
–	–	5,2 ppm	ASTM, 1980
–	Café	108 ppm	ASTM, 1980

7.4 Études à long terme

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Référence
	A. – Exposition de brève durée	
• CHEZ L'HOMME		
1 000 ppm	Létal après quelques inspirations.	Braker, 1977
833 ppm (30 à 60 mn)	Mort.	Braker, 1977
430 ppm (30 mn)	Teneur létale minimale.	RTECS, 1979
40 à 60 ppm (30 à 60 mn)	Oedème pulmonaire.	Hedges, 1979

30 ppm (mn)	Suffocation, toux, sensation de brûlure.	Hedges, 1979
15,1 ppm	Teneur minimale irritant le pharynx.	Fieldner et coll., 1921 (NIOSH, 1976)
15 ppm (mn)	Irritation oculaire, nasale et pharyngiale.	Hedges, 1979
4 ppm (1/2 à 1 h)	Aucun effet nuisible.	Hedges, 1979
3,5 à 4 ppm (16 mn)	Congestion nasale. Limite de tolérance. Toux pendant 18 heures.	Matt, 1889 (NIOSH, 1976)
2,5 ppm (5 mn)	Brûlures oculaires, buccales et pharyngiales.	Matt, 1889 (NIOSH, 1976)
1,3 ppm (30 mn)	Essoufflement, maux de tête.	Patty, 1981
1,3 ppm (7 mn)	Brûlures oculaires.	Matt, 1889 (NIOSH, 1976)
1 ppm	Teneur minimale nuisible.	Matheson, 1980
1 ppm	Brûlures oculaires, gorge sèche, toux, difficulté d'inhaler.	Patty, 1981
1 ppm (20 mn)	Sensation d'engourdissement dentaire, léger goût métallique, maux de tête, brûlures conjonctivales et épidermiques, goût distinct, toux, difficultés respiratoires.	Beck, 1959 (NIOSH, 1976)
< 1 ppm	Défectuosités ventilatoires obstructrices aiguës disparaissant après 24 à 48 heures.	Beck, 1959 (NIOSH, 1976)
0,5 ppm	Irritation nasale, toux.	NIOSH Guide, 1981
0,5 ppm	Un sujet a été accidentellement exposé parce qu'il avait utilisé un respirateur non étanche. Plusieurs heures plus tard, la victime développait un emphysème médiastinal.	Monts et Woodall, 1944 (NIOSH, 1976)
0,5 ppm	Augmentation de la chronaxie optique.	Ryazanov, 1962 (NIOSH, 1976)
0,452 ppm	Brûlures des tissus conjectifs.	Rupp et Henschler, 1967 (NIOSH, 1976)
0,2 ppm	Gorge sèche, légère toux, sensations dans la conjonctive.	Beck, 1959 (NIOSH, 1976)
0,058 ppm	Chatouillements de la gorge.	Rupp et Henschler
0,027 ppm	Chatouillements du nez.	Rupp et Henschler
Exposition accidentelle (teneur inconnue)		
(Après 1 à 3 semaines)	Dyspnée d'effort, fatigue rapide, toux et diminution du volume des poumons.	Kowitz et coll., 1967 (NIOSH, 1976)
(Après 2 mois)	Diminution du volume des poumons et des concentrations d'oxygène. Lésions alvéolo-capillaires aiguës.	Kowitz et coll., 1967 (NIOSH, 1976)
(Après 6 mois)	Diminution progressive de la capacité pulmonaire totale. Diminution de la capacité vitale moyenne. Augmentation de la résistance moyenne des voies respiratoires. Hypoxémie artérielle.	Kowitz et coll., 1967 (NIOSH, 1976)
• CHEZ LES MAMMIFÈRES		
500 ppm (5 mn)	Teneur létale minimale.	RTECS, 1979
• CHEZ LE CHIEN		
2 000 à 50 ppm (30 mn)	D'abord, excitation générale, agitation, aboiements, miction, défécation. Clignement des yeux, sternutation, copieuse salivation, hauts-le-coeur, vomissements. Ultérieurement, bave buccale et gêne respiratoire. À 800 ppm, mortalité de 50 p. 100 en 3 jours.	Underhill, 1920 (NIOSH, 1976)

	À 900 ppm, mortalité de 87 p. 100 en 3 jours.	
2 000 à 50 ppm (30 mn)	Graves lésions des muqueuses du tractus respiratoire supérieur, dilatation et contraction irrégulières des bronches, accès d'emphysème aigu et atélectasie, inflammation, signes de pneumonie chez des chiens mourant en 24 heures. Les chiens mourant entre 2 et 5 jours après l'exposition au gaz présentaient une pneumonie lobulaire, des abcès, de la gangrène et des spasmes bronchiolaires. Les animaux survivant 15 jusqu'à 193 jours après l'exposition au gaz présentaient des symptômes d'emphysème, avec exsudat des bronchioles consistant en fibroblastes et des vaisseaux sanguins avec cellules mononucléaires.	Winternitz, 1920 (NIOSH, 1976)
900 à 800 ppm (30 mn)	Mortalité d'au moins 85 p. 100 des animaux. Chez 20 chiens, baisse de température de 1 °C par demi-heure pendant 2 heures puis diminution plus lente jusqu'à la mort. Les animaux exposés à des températures modérément fortes (35 jusqu'à 40 °C) ou à la température de la pièce étaient incapables de régulariser leur température corporelle.	Barbour, 1919 (NIOSH, 1976)
800 ppm (30 mn)	Teneur létale minimale.	RTECS, 1979
800 ppm (2 à 7 h)	Acidose augmentant rapidement.	TDB (en ligne), 1982
650 ppm (30 mn) et jamais moins de 280 ppm	Faible taux de mortalité.	TDB (en ligne), 1982
200 à 180 ppm (30 mn)	Baisse de la température de 0,7 °C en moyenne chez 3 chiens. L'hypothermie durait 6 heures en moyenne. Répercussions irritantes semblables à celles de l'exposition à 24 - 30 ppm, suivies d'une diminution générale de l'activité musculaire et de dyspnée. Aucun signe de bronchite ou d'oedème. Animaux apparemment normaux au bout de quelques heures après la fin de l'exposition.	Barbour, 1919 (NIOSH, 1976)
30 à 24 ppm (30 mn)	Augmentation de 0,8 °C en moyenne de la température corporelle pendant 3 à 24 heures chez 4 chiens exposés au gaz. Signes chimiques d'irritation, larmoiement, salivation, légers hauts-le-coeur, vomissements. Retour à la normale apparente après la fin de l'exposition.	Barbour, 1919 (NIOSH, 1976)
• CHEZ LE CHAT		
660 ppm (4 h)	Teneur létale minimale.	RTECS, 1979
300 ppm (1 h)	Peut causer la mort après une période d'inflammation de la conjonctive, de toux et de dyspnée.	TDB (en ligne), 1982
200 à 100 ppm	Réflexe de constriction des bronches durant approximativement une minute. Augmentation simultanée de la fréquence respiratoire.	Gunn, 1920 (NIOSH, 1976)
138 ppm (1 h)	Teneur létale minimale.	ITII, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
660 ppm (4 h)	Dose létale minimale.	RTECS, 1979

200 à 100 ppm	Réflexe de constriction des bronches durant approximativement une minute. Augmentation simultanée de la fréquence respiratoire.	Gunn, 1920 (NIOSH, 1976)
• CHEZ LE COCHON D'INDE		
200 ppm (15 à 30 mn)	Lésions sévères des muqueuses du tractus respiratoire supérieur, dilations et contractions irrégulières des bronches. Accès d'emphysème aigu et atélectasie, inflammation. Les animaux survivant 15 à 193 jours après l'exposition au gaz montrent de l'emphysème avec exsudat des bronchioles consistant en fibroblastes et des vaisseaux sanguins avec cellules mononucléaires.	Faure et coll., 1970 (NIOSH, 1976)
• CHEZ LE RAT		
293 ppm (1 h)	Teneur létale 50.	RTECS, 1979
9 ppm	Baisse de 50 p. 100 de la fréquence respiratoire.	Kane, 1979
	B. – Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
46 ppm ou moins	Corrosion dentaire chez les travailleurs exposés régulièrement.	TDB (en ligne), 1981
15 ppm ou moins	Intoxication chronique.	Doc., TLV, 1981
7 ppm ou moins	Légers effets accentuant les troubles respiratoires.	Doc., TLV, 1981
6 ppm ou moins	Sensation de piqûre ou de brûlure oculaires, nasales et pharyngiales; maux de tête.	Patty, 1981
6 ppm ou moins	Sensation de piqûre et de brûlure oculaires chez certains sujets avec blépharospasmes associés, rougeur et larmoiement mais, avec la prolongation de l'exposition, la sensibilité, les signes et les symptômes peuvent diminuer.	TDB (en ligne), 1981
5 ppm	Plaintes de difficultés respiratoires, corrosion dentaire, inflammation des muqueuses nasales. Augmentation de la susceptibilité à la tuberculose.	Doc., TLV, 1981
5 ppm	Vieillissement prématuré des sujets exposés au chlore dans les salles de blanchiment; maladies des bronches et prédisposition à la tuberculose. Irritation cutanée causant une sensation de brûlure ou de piqûre, inflammation ou formation d'ampoules.	TDB (en ligne), 1981
< 1 ppm (10,9 ans en moyenne)	Exposition de travailleurs mâles. Aucune relation ou corrélation de la dose avec l'occurence des rhumes, de la dyspnée, de douleurs thoraciques et de la capacité et du volume ventilatoires. Léger excès d'ECG anormaux chez les travailleurs exposés au gaz. Légères corrélations de l'exposition avec l'anxiété, les vertiges, la leucocytose et la diminution de l'hématocrite. Aucun signe de mutagénicité ou de carcinogénicité.	Patty, 1981
< 1 ppm	Radiographies antérieures-postérieures anormales; calcification parenchymateuse ou hilaire.	Chester et coll., 1969 (NIOSH, 1976)
0,15 ppm en moyenne (10,9 ans en moyenne)	Incidence élevée de la carie dentaire. Aucun signe d'endommagement permanent des poumons. Incidence de fatigue plus forte si la teneur est supérieure à 0,5 ppm. Aucune corrélation entre la teneur et les maux de tête, la nervosité et l'insomnie.	Patel et coll., (NIOSH, 1976)

	Corrélation modérée entre les teneurs, l'anxiété et les vertiges. Constatation d'une certaine relation entre la teneur et la leucocytose ainsi que la diminution de l'hématocrite.	
• CHEZ LE LAPIN		
1,7 à 0,7 ppm (jusqu'à 9 mois) (aucune précision)	Perte pondérale et augmentation de l'incidence des maladies respiratoires.	TDB (en ligne), 1981
	L'inhalation de petites quantités de chlore a accéléré l'évolution de la tuberculose expérimentale.	TDB (en ligne), 1981
• CHEZ LE COCHON D'INDE		
1,7 ppm (5 h/j, 87 j)	Aucun effet chez les sujets exposés au chlore seulement. Survie moindre chez les sujets exposés au bacille de la tuberculose seul ou accompagné de chlore.	Arloing et coll., (NIOSH, 1976)
• CHEZ LE RAT		
118 ppm (3 h), puis 70 ppm (14 h)	Rats exempts de pathogènes spécifiques et rates malades: la maladie pulmonaire pré-existante augmente les risques de mort par exposition à une forte teneur en chlore (< 0,01). Chez les animaux malades: augmentation de la sévérité de la réponse cellulaire, augmentation de la prolifération des cellules caliciformes et aspiration de mucosités. Aucune augmentation du nombre des cellules polynucléaires des souris exemptes de pathogènes spécifiques.	Bell et Elmes, 1965 (NIOSH, 1976)
34 ppm (3 h/j) avec augmentation journalière par incrément jusqu'à 170 ppm, soit une période totale de 60 h à 90 ppm en moyenne	Rats exempts de pathogènes spécifiques et rates malades: la maladie pulmonaire pré-existante augmente les risques de mort par exposition à une forte teneur en chlore (< 0,01). Chez les animaux malades: augmentation de la sévérité de la réponse cellulaire, augmentation de la prolifération des cellules caliciformes et inspiration de mucosités. Aucune augmentation du nombre des cellules polymorphonucléaires des souris exemptes de pathogènes spécifiques.	Bell et Elmes, 1965 (NIOSH, 1976)
40 ppm (3 h/j pendant 43 h, écart non expliqué) à l'âge de 14 semaines, puis 117 ppm (3 h/j, pendant 29 h) à l'âge de 30 semaines	Toux, sternutation et resserrement les uns contre les autres de rats âgés de 14 semaines exempts de pathogènes spécifiques. Écoulement nasal parfois taché de sang après 3 heures. À 30 semaines, mortalité d'environ 50 p. 100 des animaux après 29 heures. L'auteur concluait que l'exposition à 40 ppm de chlore ne causait pas la mort mais que l'exposition subséquente à une plus forte teneur (117 ppm) était susceptible de la causer.	Bell et Elmes, 1965 (NIOSH, 1976)
1 jusqu'à 3 ppm de chlore mélangés à 4,5 mg/m^3 de mercure (5 h/j, 5 j/semaine pendant 3 mois)	L'addition de chlore gazeux à la vapeur de mercure diminue l'absorption de mercure.	Viola et Cassano, 1968 (NIOSH, 1976)

7.4.2 **Ingestion.** – Aucune information particulière n'a été recueillie sur l'ingestion de chlore. L'ingestion est peu vraisemblable puisque le chlore est gazeux au-dessus de -34,5 °C (CHRIS, 1978).

7.4.3 Mutagénicité et carcinogénicité

Exposition	Effets	Référence
(aucune précision)	Diminution de la capacité de l'ADN de *Bacillus subtilis* de transférer des cellules; augmentation des ruptures d'ADN.	Sheh et Lederberg, 1976 (NIOSH, 1976)
(aucune précision)	Aucune carcinogénicité observée.	Christensen, 1975 (NIOSH, 1976)
• CHEZ L'HOMME < 1 ppm (10,9 ans en moyenne)	Ni carcinogénicité ni mutagénicité observées.	Patty, 1981

7.5 Symptômes d'exposition et d'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des documents consultés. Seuls les symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle sont suivis de la référence appropriée.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation des yeux et du tractus respiratoire.
2. Larmoiement, conjonctivite.
3. Sternutation, toux, suffocation, angine, douleurs thoraciques associées à la toux, enrouement ou extinction de voix.
4. Salivation excessive.
5. Difficultés respiratoires, constriction du thorax (Sax, 1979).
6. Fatigue olfactive à de faibles teneurs (Patty, 1981).
7. L'exposition chronique à de faibles teneurs en chlore peut causer la corrosion dentaire et l'acné chlorique (USDHEW, 1977).
8. L'exposition prolongée à de faibles teneurs peut diminuer la capacité respiratoire (G.E., 1979).
9. Forte irritation à de fortes teneurs. Les sujets s'éloignent eux-mêmes de l'emplacement de l'exposition sauf s'ils sont piégés ou inconscients.
10. Maux de tête et enflure des cavités pneumatiques annexées aux fosses nasales (Braker et coll., 1977).
11. Saignements de nez et expectoration laryngiale; trachée susceptible d'être teintée de sang (Braker et coll., 1977).
12. Vertiges, agitation, anxiété (Braker et coll., 1977).
13. Nausées, vomissements.
14. Douleurs épigastriques (stomacales) (ITII, 1981).
15. Trachéobronchite chimique.
16. Hémoptysie, cyanose (USDHEW, 1977).
17. Oedème pulmonaire aigu, bronchopneumonie.
18. Mort.
19. Une brève exposition à de très fortes teneurs en chlore peut causer la mort par suffocation.

7.5.2 **Ingestion.** – Exposé aux températures et pressions atmosphériques normales, le chlore liquide passe instantanément à l'état de chlore gazeux. L'ingestion du chlore liquide est par conséquent peu vraisemblable (AAR, 1981). Le contact cutané du chlore liquide peut causer des engelures.

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation locale, picotements.
2. Sensation de brûlure (Lefèvre, 1980).
3. Inflammation.
4. Brûlures (ARR, 1981).
5. Ampoules douloureuses (Lefèvre, 1980).
6. Collapsus pouvant être causé par la douleur (Lefèvre, 1980).
7. Des engelures peuvent se produire au contact du chlore liquide.

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Sensation de piqûre ou de brûlure.
2. Larmoiement.
3. Conjonctivite (Lefèvre, 1980).
4. Sensation de brûlure palpébrale et oculaire avec ulcération tissulaire.
5. Irritation locale extrême et (ou) brûlures oculaires (ARR, 1981).
6. Opacité cornéenne (Lefèvre, 1980).
7. Perte de vue (Lefèvre, 1980).

7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion, pour l'homme

7.6.1 **Chlorure d'hydrogène.** – Du chlorure d'hydrogène à l'état gazeux ou à l'état liquide peut se former à partir du chlore en présence de vapeur d'eau. Le contact cutané cause de l'irritation, de l'inflammation, des brûlures, des ampoules, des dermatites et des dommages tissulaires profonds selon la teneur et la durée du contact. Le contact oculaire peut causer des piqûres, des brûlures et l'opacité ainsi que la nécrose cornéennes. L'inhalation du produit cause la toux, la suffocation, l'ulcération des muqueuses, la bronchite, la pneumonie et, en cas d'exposition à des teneurs extrêmement fortes, l'oedème pulmonaire et la mort. La TLV® est de 5 ppm (8 h, MPFT) (Doc. TLV, 1981).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le chlore et divers produits chimiques

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
En général														
Chaleur						•								Sax, 1979
Eau			•			•							Forme du chlorure d'hydrogène et de l'acide hypochloreux. Peut produire une explosion à certaines teneurs.	Sax, 1979; Bretherick, 1979; Cotton, 1972
Produits chimiques														
Acétaldéhyde										•				NFPA, 1978
Acétylène			•										Le mélange peut exploser suite à l'initiation par UV ou par une température élevée.	Bretherick, 1979
Acétylure cuivreux		•											S'enflamme spontanément.	NFPA, 1978
Acide sulfamique			•							•			Forme du trichlorure d'azote.	NFPA, 1978
Aciers		•											La laine d'acier sèche s'enflamme à 50 °C; les feuilles, entre 200 et 250 °C; mais la présence de suie, de rouille, de carbone ou d'autres catalyseurs baisse la température d'inflammation à 100 °C.	Bretherick, 1979
Alliages d'aluminium -titane		•											Lors du chauffage.	Bretherick, 1979
Aluminium		•											Présence de poudre dans le gaz à -20 °C.	Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Ammoniac		•											Explose lorsque chauffé à cause de la formation de trichlorure d'azote.	Bretherick, 1979
Antimoine		•											En poudre, lorsque déversé dans le gaz à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Arsenic		•											En poudre, lorsque déversé dans le gaz à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Benzène			•										Explosion initiée par la lumière.	NFPA, 1978
Bismuth		•											Brûle spontanément lorsque saupoudré dans le gaz sec. S'enflamme à 80 °C dans le chlore liquide.	Bretherick, 1979
Bore		•											Brûle spontanément.	Bretherick, 1979
BPC	•													NFPA, 1978
Bromure de phényl magnésium			•										Explose en présence d'humidité.	Bretherick, 1979
Calcium		•											En poudre dans le gaz sec, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Carbure acétylénique de césium		•												NFPA, 1978
Carbure acétylénique de potassium		•											Forme du chlorure d'hydrogène et du carbone.	NFPA, 1978
Césium		•											Réagit en donnant une flamme éclairante.	NFPA, 1978
Charbon actif		•											Au contact du gaz, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Chlorite de calcium			•											NFPA, 1978
Chlorure de 4-morpholinesulphényl			•											Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Cire à dessin			•										Explose avec le chlore liquide.	NFPA, 1978
Cuivre		•											Feuilles de métal dans le gaz sec, à la température ambiante; une solution dans l'heptane s'enflamme au contact du cuivre poudreux même sous 0 °C.	Bretherick, 1979
Diborane			•											Bretherick, 1979
Dichlorométhyl arsenic			•										Explosion du contenant due à la libération de chlorométhane.	Bretherick, 1979
Diethyl zinc		•											S'enflamme spontanément.	Bretherick, 1979
Difluorure de dioxygène		•	•										-130 °C à -190 °C	Bretherick, 1979
Difluorure d'oxygène			•										Explose lorsque chauffé.	Bretherick, 1979
Dioxyde de tungsten	•												Incandescent lors du chauffage.	Bretherick, 1979
Diphosphure de manganèse		•											Chlore chaud.	Bretherick, 1979
Diphosphure de tricuivre		•											La poudre brûle vigoureusement.	Bretherick, 1979
Disulfure de carbone			•										Explosion catalysée par le fer lors de l'addition de chlore liquide au disulfure de carbone dans un cylindre de fer.	Bretherick, 1979
Disulfure de diarsenic		•											À la température ambiante.	Bretherick, 1979
Essence	•		•										Produit une réaction exothermique progressive jusqu'à la détonation lors du mélange avec le chlore liquide.	Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Étain	•	•											S'enflamme dans le chlore liquide à -34 °C et dans le gaz sec lors du chauffage.	Bretherick, 1979
Éthane		•											Sur du charbon activé à 350 °C.	Bretherick, 1979
Éther diéthylique		•											Au contact et lors d'une exposition à la lumière.	Bretherick, 1979
Éthylène		•											Explosif sous rayons UV ou solaires.	Bretherick, 1979
Éthylène-imine		•											Produit du chloro-1-éthylène-imine.	NFPA, 1978
Éthylphosphine		•												Bretherick, 1979
Fer	•												Un filament s'enflamme à 250 °C dans le gaz sec.	CM, 1976; Bretherick, 1979
Fluor	•	•											En présence d'humidité et d'une étincelle, produit une explosion violente.	Bretherick, 1979
Fluorure d'étain	•													NFPA, 1978
Germanium	•												Saupoudré dans le gaz sec.	Bretherick, 1979
Glycérine		•											Explose avec le chlore liquide.	Bretherick, 1979
Hexachlorodisilane	•	•											Une explosion violente peut se produire; la vapeur s'enflamme dans le chlore au-dessus de 300 °C.	Bretherick, 1979
Huile de lin		•											Réagit explosivement avec le chlore liquide.	NFPA, 1978
Hydrazine	•													Bretherick, 1979
Hydrogène		•											Explose sous l'application de toutes formes d'énergie.	Bretherick, 1979
Hydroxyde de sodium										•			Chlore liquide versé dans une solution de NaOH à 20 p. 100.	Bretherick, 1979
Hydroxylamine	•													Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Hydrure d'antimoine			•										Gazeux, également avec de l'eau chlorée.	Bretherick, 1979
Hydrure d'arsenic		•											Au contact, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Hydrure de cuivre		•												NFPA, 1978
Hydrure de potassium		•											Brûle spontanément.	NFPA, 1978
Hydrure de silicium		•												NFPA, 1978
Iode										•				NFPA, 1978
Isocyanate de phosphore										•				NFPA, 1978
Laiton		•											Dans le gaz sec, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Lithium		•											Réagit en donnant une flamme éclairante.	NFPA, 1978
Magnésium		•											S'enflamme spontanément avec le chlore humide.	NFPA, 1978
Manganèse		•											En poudre dans le gaz sec, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Mercure		•											La flamme se forme entre 200 à 300 °C.	NFPA, 1978
Nickel		•											En poudre à 600 °C.	Bretherick, 1979
Niobium		•											S'enflamme lorsque chauffé doucement.	Bretherick, 1979
Nitrure de calcium		•												Bretherick, 1979
Oxomonosilane													Le polymère s'enflamme au contact du chlore.	NFPA, 1978
Oxyde de disilyle			•											Bretherick, 1979
Oxyde de phosphore		•												NFPA, 1978
Pentafluorure de brome			•										Explose lors du chauffage.	Bretherick, 1979
Phosphine		•											Au contact, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Phosphore (blanc)		•	•										Explose au contact du liquide à -34 °C; s'enflamme au contact du gaz, à la température ambiante.	Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Phosphore (rouge)		•											S'enflamme spontanément lorsque finement divisé; s'enflamme à 0 °C dans une solution d'heptane/chlore.	Bretherick, 1979
Phosphure de baryum		•											S'enflamme à 90 °C.	NFPA, 1978
Phosphure de bore	•												Incandescence dans le gaz sec à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Phosphure de strontium		•												NFPA, 1978
Phtalate de dibutyle			•										Explose avec le chlore liquide à 118 °C.	Bretherick, 1979
Polydiméthylsiloxane			•										Explose avec le chlore liquide.	NFPA, 1978
Polypropylène			•										Explose avec le chlore liquide.	NFPA, 1978
Potassium		•											Dans le gaz sec, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Rubidium		•											Réagit en donnant une flamme éclairante.	NFPA, 1978
Silane		•											Au contact, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Silicium		•											Brûle spontanément.	Bretherick, 1979
Sodium		•											Gaz humide à la température ambiante.	NFPA, 1978
Sulfure de mercure		•											À la température ambiante.	Bretherick, 1979
Tellurium	•												Devient incandescent dans le gaz lorsque chauffé légèrement.	Bretherick, 1979
Térébenthine			•											NFPA, 1978
Tétraméthyldiarsenic		•											S'enflamme spontanément.	NFPA, 1978
Tétranitrure de tétrasélénium			•										Au contact.	Bretherick, 1979
Tétraphosphure de trimercure		•											À la température ambiante.	NFPA, 1978
Thorium	•	•											Lors du chauffage dans le gaz sec.	Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Titane		•											Peut s'enflammer au contact du gaz sec ou du liquide; la présence d'humidité l'empêchera de s'enflammer.	Bretherick, 1979
Triiodure d'azote			•											NFPA, 1978
Trioxyde de phosphore		•											À la température ambiante.	Bretherick, 1979
Trisulfure de dibore		•											Dans le gaz sec à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Uranium		•											S'enflamme spontanément à 150 °C dans le gaz sec.	Bretherick, 1979
Vanadium			•										En poudre à 0 °C au contact du liquide sous pression.	Bretherick, 1979
Zinc		•											Dans le gaz humide, à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Zinc diéthyle*														
Groupes de produits chimiques														
Agents réducteurs forts			•											EPA-600/2-80-076
Alcools			•			•							Produit des hypochlorites d'alkyle qui se décomposent au froid et explosent lorsque exposés aux rayons de soleil ou à la chaleur.	Bretherick, 1979
Alkylphosphines						•					•		Composés mono ou dialkyle.	NFPA, 1978
Hydrocarbures aliphatiques saturés											•			Bretherick, 1979
Hydrures		•											De potassium, sodium et cuivre à la température ambiante.	Bretherick, 1979
Sels alkylisothiourées			•										Explose au contact prolongé ou avec le chlore présent en excès.	NFPA, 1978
Silicones			•										Explose lors du chauffage.	Bretherick, 1979
Sulfures		•												Bretherick, 1979
Trialkylboranes		•												Bretherick, 1979

* Voir diethyl zinc.

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation originale a même été respectée afin d'éviter toute déformation de sens. Ce faisant, il devenait impossible d'empêcher que n'apparaissent d'éventuels désaccords entre les sources. D'autre part, le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Risques d'incendie. – Le chlore n'est ni inflammable ni explosible à l'état gazeux ou liquide (HCG, 1981). Son contact avec des substances combustibles (comme l'essence et les produits du pétrole, la térébenthine, les alcools, l'acétylène, l'hydrogène, l'ammoniac et le soufre) et les métaux finement divisés peut causer des incendies et des explosions (INSHP/OSHA, 1978; ANPI, 1978). En présence d'eau ou d'humidité, le chlore s'hydrolyse et forme du HCl qui peut attaquer des métaux en libérant de l'hydrogène qui peut lui-même se combiner avec le chlore et provoquer une explosion (Hooker MSDS, 1977). Le chlore, comme l'oxygène, favorise la combustion de la plupart des matières combustibles. Les gaz et vapeurs inflammables peuvent former avec le chlore des mélanges explosifs. Une chaleur locale intense (supérieure à 215 ^{o}C) sur des parois en acier peut allumer l'acier dans le chlore (GE, 1979). Une température élevée peut également faire exploser les bouteilles (INSHP/ANPI, 1978).

9.1.2 Moyens d'extinction. – Refroidir les récipients touchés par le feu au moyen d'un jet d'eau pour les empêcher d'exploser et diminuer les vapeurs (ERG, 1980). Un jet d'eau peut également être utilisé pour éloigner les vapeurs de chlore de l'équipe chargée de fermer les robinets (ANPI, 1978). Ne pas projeter directement d'eau sur la perforation ou dans les récipients (EAG, 1978).

Petit feu : utiliser de la poudre sèche ou du CO_2.

Grand feu : utiliser de l'eau pulvérisée.

Éloigner les récipients du lieu de l'incendie si cela peut être fait sans risque. En cas d'incendie majeur sur l'emplacement du chargement, utiliser des lances sur affût ou télécommandées. Rester à l'écart des extrémités des réservoirs (ERG, 1980).

9.1.3 Évacuation de la zone dangereuse. – Le présent paragraphe fournit des indications quant à la superficie à évacuer. Ces indications, qui sont tirées des sources bibliographiques consultées, ne sont pas toujours accompagnées, malheureusement, de données relatives à la quantité de polluant déversée, à la teneur en polluant de l'air, aux conditions météorologiques et aux caractéristiques du milieu. Aussi est-il recommandé au lecteur de comparer les chiffres qui apparaissent dans le tableau ci-après aux valeurs qui peuvent être obtenues en utilisant les méthodes de calcul de la zone dangereuse, à la section 5.3, lesquelles tiennent compte des facteurs susmentionnés.

Zone à évacuer par vents dominants de 10 à 19 km/h (EAG, 1978)

Volume déversé	Rayon de la zone de danger immédiat	Superficie à évacuer, du côté sous le vent pour une sécurité maximale
20 m^2	145 m (192 pas)	1 620 m de longueur sur 810 m de largeur
35 m^2	220 m (288 pas)	2 430 m – 1 620 m –
55 m^2	275 m (360 pas)	2 430 m – 1 620 m –
75 m^2	310 m (408 pas)	3 240 m – 2 430 m –

Dans le cas d'une explosion, la distance minimale de protection contre la volée d'éclats est de 600 m (dans toutes les directions).

9.1.4 Mesures d'intervention en cas de déversements

9.1.4.1 Information générale. – Les récipients perforés doivent être emmenés en plein air ou dans un emplacement isolé bien aéré (MCA, 1970). Si une fuite de chlore se produit dans une zone habitée, maintenir le véhicule ou le camion-citerne en mouvement jusqu'à une région déserte afin de réduire au minimum les dangers dus aux vapeurs de chlore. Si possible, mettre le récipient dans une position qui laisse échapper du gaz plutôt que du liquide (HCG, 1981).

Les fuites autour des tiges de robinet peuvent habituellement être arrêtées en serrant le presse-étoupe avec ou sans bague. En cas de fuite autre qu'une fuite au robinet, des trousses d'urgence peuvent être utilisées pour arrêter la fuite (HCG, 1981).

S'il est impossible d'arrêter la fuite ou d'emmener le récipient dans un emplacement offrant toute sécurité, neutraliser le chlore par une solution alcaline. **Ne jamais immerger le récipient** mais introduire le chlore dans la solution par un tuyau en fer ou un tuyau en caoutchouc lesté (CNR, 1979). Le chlore peut être absorbé dans une solution de soude caustique ou de carbonate de sodium, ou dans des boues de chaux hydratée agitées. La soude caustique est recommandée parce qu'elle absorbe le chlore plus facilement. Les proportions recommandées de matières alcalines et d'eau nécessaires pour absorber différentes quantités de chlore sont les suivantes (HCG, 1981):

Capacité du récipient (kg)	Soude caustique		Carbonate de sodium		Chaux hydratée*	
	NaOH (kg)	Eau (l)	Na_2CO_3 (kg)	Eau (l)	$Ca(OH)_2$ (kg)	Eau (l)
45	57	151	136	379	57	473
68	85	227	204	568	85	712
908	1 135	3 028	2 724	7 570	1 135	9 463

* La solution de chaux hydratée doit être agitée continuellement et vigoureusement pendant l'absorption du chlore (HCG, 1981).

Le chlore gazeux peut également être absorbé dans des solutions contenant des agents réducteurs comme le bisulfite de sodium et le bicarbonate de sodium (INSHP/ANPI, 1978).

La mousse d'uréthane a été recommandée pour confiner le chlore déversé (EPA-R2-73-185).

9.1.4.2 Déversements sur le sol. – Tout chlore liquéfié déversé ou eau polluée par le chlore doivent être confinés, si possible, à l'aide de barrages mécaniques ou chimiques pour éviter l'étalement. De la cendre volante ou du ciment en poudre peuvent être appliqués pour absorber la plus grande partie du liquide (EPA 670/2-75-042). Récupérer si possible tout liquide (DOW ERIS, 1981).

Les produits suivants peuvent être utilisés soit pour neutraliser, soit pour immobiliser le chlore déversé.

- Agents neutralisants (CG-D-38-76): carbonate, hydroxyde ou oxyde de calcium, coquilles de crustacés, hydroxyde ou carbonate de sodium, pierre à chaux ou dolomite.
- Agents réducteurs (CG-D-38-76): sulfite de calcium semi hydraté, filtrat de lignite ou liqueur de sulfite de cellulose de la mise en pâte du bois.
- Sorbants (CG-D-38-76): charbon activé, polyuréthane, polyoléfine et Dowex 1.
- Le thiosulfate de sodium peut également être utilisé pour la déchloration (OHM-TADS, 1981).

9.1.5 Nettoyage et traitement

9.1.5.1 Déversements dans l'eau. – Si le chlore s'est solubilisé dans l'eau, l'application de charbon activé à raison de 10 p. 100 de la quantité déversée sur la zone touchée par des teneurs de 10 mg/l ou plus fortes est recommandée. Les dragues ou appareils élévateurs mécaniques peuvent être utilisés pour éliminer les masses immobilisées de polluants et de précipités (EPA-670/2-75-042).

9.1.5.2 Information générale. – Pour épurer l'eau polluée, la technique suivante est recommandée (EPA-600/2-77-227): séparation gravitaire des matières solides suivie de leur acidification jusqu'à un pH de 2,0 - 3,0 par l'acide sulfurique. Addition de bisulfite de sodium comme agent réducteur jusqu'à ce qu'il ne reste que peu ou pas du tout de chlore résiduaire. Neutralisation subséquente de la solution jusqu'à pH 7,0 à l'aide soit d'un acide, soit d'une base. L'adsorption sur le carbone est recommandée pour éliminer les faibles teneurs en chlore.

L'extraction au solvant peut également être appliquée à titre de mesure préventive aux déversements de chlore parce que 99 p. 100 du chlore total ont été éliminés par cette technique (EPA-600/8-80-042E).

9.1.6 Élimination du polluant. – Le chlore résiduaire et l'eau polluée par le chlore ne doivent jamais être rejetés directement dans les égouts ou les eaux superficielles. Après épuration soit à l'emplacement du déversement, soit dans une installation de traitement de déchets, la boue obtenue peut être éliminée par enfouissement dans une décharge. Si de l'hypochlorite est produit pendant l'épuration, il peut être détruit par addition de sulfite de sodium ou par traitement de l'hypochlorite basique à 50 - 70 °C en présence de cuivre et de nickel (Hooker PIM, 1979).

9.1.7 Appareils et vêtements de protection. – Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut revêtir une combinaison entièrement étanche aux agents chimiques.

Si le produit déversé est du chlore:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants, des visières pare-acide (de 20 cm au minimum) et tout autre pièce de vêtement requise pour prévenir tout risque de contact cutané avec le chlore liquide et éviter des engelures d'épiderme au contact des récipients contenant du chlore liquide (INSHP/AMPI, 1978).
- Porter des lunettes protectrices à l'épreuve des éclaboussures dans les endroits où il est possible que le chlore liquide atteigne les yeux (INSHP/ANPI, 1978). Des lunettes protégeant contre les produits chimiques sont également recommandées (GE, 1979).
- Il est recommandé de porter des gants en PVA (ASHLAND MSDS, 1978).
- Des tissus à base de chloropel ont été recommandés parce qu'ils résistent bien au chlore (EE-20).
- Les vêtements non imperméables souillés par le chlore doivent être retirés immédiatement et ne pas être portés de nouveau jusqu'à ce que le chlore en soit éliminé (INSHP/ANPI, 1978).
- Des postes de lavage des yeux et des douches de lavage de produits chimiques doivent être facilement accessibles dans les endroits où du chlore est utilisé ou déversé (GE, 1979).

Le lecteur trouvera dans le tableau qui suit une liste des éléments minimaux de protection des voies respiratoires que requiert une intervention sur les lieux d'un déversement de chlore (NIOSH/OSHA, 1981).

Protection respiratoire minimale pour une teneur supérieure à 1 ppm

Situation	Équipement*
Teneur en gaz < 25 ppm	Respirateur à cartouche de produits chimiques avec masque couvre-visage et cartouche(s) protégeant contre le chlore. Masque à gaz avec cartouche au menton ou montée à l'avant ou à l'arrière, protégeant contre le chlore. Tout respirateur d'air avec masque ou casque complet, ou cagoule. Tout appareil respiratoire autonome avec masque couvre-visage.
Teneur > 25 ppm** ou entrée ou sortie dans des zones à teneur inconnue	Appareils respiratoires autonomes avec masque couvre-visage fonctionnant sur demande à pression positive ou en un autre mode de pression positive. Appareil respiratoire combiné comprenant un appareil respiratoire alimenté en air du type C avec un masque couvre-visage fonctionnant sur demande à pression positive ou en un autre mode de pression positive ou à débit continu et un appareil respiratoire autonome auxiliaire fonctionnant sous pression sur demande ou en un autre mode de pression positive.
Lutte contre l'incendie	Appareil respiratoire autonome avec masque couvre-visage fonctionnant sous pression positive sur demande ou en un autre mode de pression positive.
Évacuation des lieux	Tout masque à gaz couvre-visage protégeant contre le chlore. Tout appareil respiratoire autonome de fuite avec masque couvre-visage.

* Seul l'équipement approuvé par l'INSHP ou la MSHA doit être utilisé.

** L'utilisation de combinaisons alimentées en air peut être nécessaire pour éviter le contact cutané tout en protégeant les voies respiratoires contre les vapeurs de chlore dans l'air; toutefois, l'équipement doit être sélectionné, utilisé et entretenu sous la supervision immédiate de personnes ayant reçu une formation spéciale. Lorsque des combinaisons alimentées en air sont utilisées contre des teneurs supérieures à 25 ppm, un appareil respiratoire autonome auxiliaire à pression positive doit également être porté.

9.1.8 Précautions spéciales. – Il faut entreposer les récipients à chlore dans des endroits bien aérés, à faible potentiel d'incendie, éloignés des sources de chaleur et d'allumage (GE, 1979). Les récipients doivent être protégés contre les dommages matériels et il faut les éloigner des matières combustibles, organiques ou facilement oxydables et spécialement de l'acétylène, de l'ammoniac, de l'hydrogène, des hydrocarbures, de l'éther, de la térébenthine et des métaux finement divisés (ANPI, 1978).

9.2 Équipement et produits spécialisés d'intervention

La brève liste qui suit est extraite d'une étude publiée en 1982 par Dillon et elle exclut évidemment beaucoup d'articles parfaitement utilisables au cours des interventions. (Le lecteur trouvera dans l'étude citée des renseignements relatifs aux caractéristiques, à l'efficacité et à la disponibilité des articles énumérés.)

Colmatage de fuite:	Trousses d'urgence A, B et C du Chlorine Institute
Confinement sur le sol:	Portafoam

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Le présent chapitre présente des cas d'accident. Il comporte des renseignements qui permettent au lecteur de mieux comprendre le processus d'intervention et les mesures de lutte que requiert un déversement accidentel. Les cas rapportés ici ont été choisis en fonction de certains critères; il ne faudrait pas voir dans le nombre de cas décrits une indication relative à l'ampleur ou à la fréquence des déversements.

Lorsqu'il y aura une nouvelle édition du présent guide, les auteurs procéderont à une mise à jour qui permettra d'intégrer au présent chapitre toute nouvelle information pertinente qui rendra compte du progrès des techniques d'intervention.

10.1 **Fuite d'un wagon-citerne** (communication personnelle avec EEB, 1982)

À la suite d'un accident de chemin de fer survenu dans le sud des États-Unis, un wagon-citerne à chlore fut perforé. Ayant tenté en vain d'arrêter la fuite de chlore, l'équipe d'intervention décida de laisser se déverser le chlore et de le neutraliser. Le fossé bordant l'emprise fut endigué et recouvert d'une membrane polymérique de façon à constituer un réservoir destiné à recevoir le chlore restant dans le wagon-citerne. On déposa dans le réservoir de fortune des granules d'hydroxyde de sodium en quantité jugée suffisante pour neutraliser le chlore qu'on s'apprêtait à y déverser. Le trou d'homme fut entrouvert de façon que le chlore puisse s'échapper lorsque le wagon serait retourné; ce qui fut fait. Cependant, lorsque le chlore liquide envahit le réservoir de fortune aménagé dans le fossé, il fut emporté par-dessus le talus et en peu de temps il était hors de vue. Il ne sembla pas qu'il y eut contact ou réaction avec l'hydroxyde de sodium. Des vapeurs de chlore s'étalèrent bientôt au ras de la zone touchée par le chlore liquide, aggravant ainsi le danger.

Le présent cas illustre le fait que le chlore liquide peut se comporter de façon semblable aux cryogènes. Le chlore fut projeté dans le fossé avec une violence telle qu'il en ressortit aussi vite pour envahir le champ voisin. L'absence apparente de friction fut expliquée par la présence de gaz piégé sous le liquide. Le liquide se vaporise rapidement au contact d'une surface chaude (par exemple, le sol) et le gaz se trouve provisoirement piégé sous le liquide, éliminant presque toute friction sous la masse qui est emportée. L'opération entreprise par l'équipe de secours aurait pu réussir si la vitesse du chlore s'écoulant verticalement avait été très lente (condition difficile à remplir) ou si le chlore avait été déversé en quantités suffisamment petites pour qu'il puisse y avoir soit réaction soit vaporisation avant qu'il ne franchisse le talus du fossé. Dans la seconde hypothèse, il aurait été préférable de verser dans le fossé une solution caustique avant d'y déverser le chlore, de manière que les vapeurs se seraient dissoutes dans la solution aqueuse au lieu de s'échapper dans l'atmosphère.

10.2 **Fuite d'un cylindre d'une tonne** (communication personnelle au SPE, 1983)

Le 25 septembre 1978, un chargement de 12 cylindres d'une tonne contenant du chlore traversait Vancouver par camion en direction des quais. Six des récipients se détachèrent lorsque le camion freina à une intersection dans le centre-ville; ils tombèrent en bas du camion et au moins l'un d'eux fut frappé par un motocycliste. L'un des récipients fuyait à la soudure et le chlore liquide se répandit. Policiers et pompiers bouclèrent le secteur, firent évacuer les lieux et appelèrent l'équipe de secours de l'industrie concernée par cet accident. Le service d'incendie

prit sur lui de projeter un brouillard d'eau sur le récipient qui fuyait, espérant rabattre au sol les vapeurs de chlore, mais il fut avisé presque aussitôt de cesser cette manoeuvre susceptible d'accentuer la fuite puisque l'eau et le chlore produisent de l'acide chlorhydrique, solution corrosive. Déjà un certain nombre de personnes avaient été victimes des effets nocifs du chlore, aussi bien des policiers et des pompiers que des civils. On fit venir d'une base militaire des appareils respiratoires additionnels pour les policiers.

L'équipe de secours de l'industrie arriva 1 heure et demie environ après le moment de l'accident; elle apportait avec elle une trousse d'intervention pour lutter contre les fuites de chlore. Malheureusement, un tel équipement ne peut servir à obturer la brèche située à la soudure: il est conçu pour colmater des fuites à l'extrémité du cylindre, à la calotte ou le long de la partie cylindrique du récipient. Le vent changea de direction et d'autres civils furent forcés d'évacuer les environs. Deux heures après le moment de l'accident, une bâche de protection fut placée sur le récipient, au-dessus duquel on projeta ensuite un brouillard d'eau. Cela eut pour effet d'abaisser considérablement l'émission de vapeurs. Une heure plus tard, un camion apporta de la soude caustique et le chlore put être neutralisé en étant pompé jusqu'à la solution de soude. On estima qu'un tiers du chlore se trouvait encore dans le récipient avant que l'on procède à la neutralisation. Le récipient fuyant et les autres récipients furent enlevés des lieux de l'accident. Quatre ou cinq heures après l'accident, tout avait été nettoyé et les gens purent revenir. Soixante-dix-sept personnes furent hospitalisées: quarante étaient des civils et trente-sept étaient des membres du service d'incendie ou du service de police.

Quelques points méritent d'être signalés:

1) Les trousses de colmatage ne permettent pas de réparer des brèches situées à la soudure d'un cylindre d'une tonne.
2) L'émission de chlore aurait pu être réduite en retournant le récipient de manière que la brèche soit dans le haut, ce qui aurait amené une émission de chlore gazeux plutôt qu'un déversement de chlore liquide.
3) Les pompiers ne savaient pas bien où rabattre les vapeurs avec un brouillard d'eau. Il aurait fallu projeter le brouillard d'eau, au moyen de lances-brouillard, sur les vapeurs déjà à l'écart du récipient. En orientant les lances vers le récipient, on provoquait la formation d'un mélange chlore-eau générateur d'acide chlorhydrique corrosif susceptible d'élargir la brèche.
4) La mise en place d'une bâche de protection et la projection d'un brouillard d'eau constituèrent une combinaison de mesures apparamment efficace pour supprimer provisoirement les vapeurs.
5) La neutralisation du chlore liquide restant dans le récipient aurait pu être tentée beaucoup plus tôt, ce qui aurait écourté le temps d'émission des vapeurs.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyse d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)

11.1.1 Colorimétrie. – La présente méthode (NIOSH, 1977; APHA, 1977) permet de doser le chlore libre à des teneurs variant de 0,05 à 1,0 ppm dans un échantillon d'air de 30 litres. On peut étendre cette plage de teneurs en faisant varier le volume de l'échantillon.

Un volume d'air déterminé est passé par un barboteur en verre fritté contenant 100 millilitres de méthylorange dilué. Cette solution absorbante est préparée en diluant 100 ml d'une solution mère de 0,05 p. 100 à 1 litre. Le débit d'échantillonnage devrait être de 1 à 2 litre(s) par minute. Des cuves de traversée variant de 1 à 5 cm peuvent être utilisées, selon la teneur en chlore. Comme les échantillons sont sensibles à la lumière, il faut protéger ces derniers d'une exposition inutile. Les sources d'interférence sont le brome libre, le dioxyde de soufre, de dioxyde d'azote et l'ozone. On utilise un spectrophotomètre approprié ajusté à une longueur d'onde de 505 nm pour déterminer le degré de décoloration du méthylorange. La présente méthode est fiable avec une précision analytique moyenne de ± 5 p. 100.

11.2 Identification du polluant dans l'air (analyse qualitative)

On utilise du papier indicateur imprégné d'amidon-iodure pour révéler la présence du chlore à des teneurs aussi faibles que 2 à 6 ppm. Le chlore réagit avec l'iodure de potassium en libérant de l'iode qui réagit à son tour avec l'amidon en développant la coloration bleue indicatrice. La sensibilité peut être améliorée à 0,25 à 12 ppm en couvrant le papier d'amidon-iodure avec de la glycérine et de l'acide sulfureux (Sittig, 1974).

11.3 Dosage du polluant dans l'eau (analyses quantitatives)

Lorsque présent dans l'eau, le chlore élémentaire subit une hydrolyse qui le transforme en chlore libre disponible sous forme de chlore moléculaire aqueux, d'acide hypochloreux et d'ions

hypochlorites. Le chlore libre, à son tour, réagit rapidement avec l'azote ammociacal et tous les composés d'azote pour former du chlore combiné disponible. Le chlore résiduel, pour sa part, est le chlore disponible présent dans l'eau par suite de l'addition de ce dernier Les méthodes suivantes permettent de doser par titrage les formes du chlore décrites ci-dessous mais non le chlore présent sous forme de chlorures.

11.3.1 Titrage iodométrique (AWWA, 1976). – La teneur minimale détectable est approximativement de 40 µg/l (0,04 ppm) de chlore dans l'eau avec un volume d'échantillon de 500 ml et l'utilisation de thiosulfate de sodium 0,01 *N*.

On recommande d'employer un volume d'échantillon approprié de manière à ce qu'un volume de 20 ml au plus de thiosulfate de sodium 0,01 *N* soit nécessaire pour compléter le titrage. Le pH est ajusté à une valeur se situant entre 3,0 et 4,0 à l'aide d'acide acétique, puis on ajoute environ 1 gramme d'iodure de potassium. Le titrage est effectué à l'aide de thiosulfate de sodium 0,025 ou 0,01 *N* et d'un indicateur à l'amidon. Le titrage d'un témoin doit également être effectué. Si l'échantillon est turbide, cela obscurcira le point de virage. Les matières organiques, le manganèse manganique et les chromates produisent des interférences. Le titrage iodométrique est considéré comme la méthode standard.

11.3.2 Titrage amidon-iodure (ASTM, 1979; AWWA, 1976). – Des teneurs en chlore aussi faibles que 1 mg/l (1 ppm) peuvent être déterminées dans un échantillon de 1 litre avec la présente méthode.

À l'échantillon, on ajoute 5 ml de thiosulfate de sodium 0,00564 *N* ou d'une solution d'oxyde phénylarsenic 0,00564 *N* et 1 gramme d'iodure de potassium. Le pH est alors ajusté à 4,0 à l'aide d'un tampon d'acétate. La solution est ensuite titrée à l'aide d'une solution de biiodate 0,0282 *N* et d'un indicateur à l'amidon. Cette méthode n'est utilisée que pour déterminer le chlore total résiduel seulement. Même si une turbidité et une coloration excessives obscurcissent le point de virage, cette méthode peut être employée pour de l'eau qui contient de fortes teneurs en matières organiques.

11.3.3 Titrage ampérométrique. – Cette méthode (ASTM, 1979; AWWA, 1976) permet de doser des teneurs en chlore allant de 0 à 2,0 ppm dans un échantillon de 100 ml qui peut d'ailleurs être dilué si la teneur présente est supérieure.

On recommande d'utiliser un volume d'échantillon qui ne requiert que 2 ml de la solution titrante.

À un échantillon de 200 ml, on ajoute 1 ml d'iodure de potassium (50 000 ppm) suivi immédiatement de l'addition de 1 ml d'un tampon d'acétate de pH 4,0. Le titrage est effectué à l'aide d'une solution d'oxyde phénylarsenic 0,00564 *N* en utilisant un potentiomètre approprié. Des précautions doivent être prises de façon que le chlore ne soit pas perdu par évaporation lors de l'agitation. Cette méthode s'applique à tous les types d'échantillons d'eau mais nécessite une habilité technique supérieure à celle que requièrent les titrages à points de virages colorés.

11.4 Identification du polluant dans l'eau (analyse qualitative)

On utilise du papier indicateur imprégné d'amidon-iodure pour révéler la présence du chlore à des teneurs aussi faibles que 2 à 6 ppm. Le chlore réagit avec l'iodure de potassium en libérant de l'iode qui réagit à son tour avec l'amidon en développant la coloration bleue indicatrice.

La sensibilité peut être améliorée à 0,25 à 12 ppm en couvrant le papier d'amidon-iodure avec de la glycérine et de l'acide sulfureux (Sittig, 1974).

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives)

11.5.1 Titrage au nitrate d'argent. – La méthode (Bear, 1964) décrite ci-dessous permet de doser des teneurs en chlore supérieures à 1 mg/l (1 ppm) dans la solution extraite.

On prélève un échantillon d'approximativement 2 g, finement moulu et précisément pesé. Il est ensuite fondu en présence de carbonate de sodium et de nitrate de sodium dans un creuset de platine placé dans un four électrique. La masse fondue résultante est placée dans l'eau, digérée, puis filtrée. On ajuste à 4,0 le pH d'une partie aliquote appropriée à l'aide d'acide sulfurique; cette partie est ensuite diluée. La solution est titrée à l'aide d'une solution standardisée de nitrate d'argent 0,1 *N* en utilisant le chromate de potassium comme indicateur. Cette méthode peut être utilisée pour déterminer de grandes quantités de chlore précisément mais elle demande beaucoup de temps. Un four électrique doit être utilisé, sinon il y aura interférence due à la contamination sulfurique de la flamme.

11.5.2 Titrage iodométrique. – La présente méthode (Hesse, 1972) permet de déterminer des teneurs aussi faibles que 1 mg/l (1 ppm) de chlore dans la solution titrée.

Un échantillon représentatif de sol est fondu avec du carbonate de sodium pur dans un creuset de platine placé dans un four électrique. Le chlore présent dans la masse fondue est oxydé en chlore élémentaire par l'addition de permanganate de potassium et est alors absorbé dans une solution d'iodure de potassium. L'iodure qui est ainsi libéré est titré à l'aide de thiosulfate de sodium 0,1 *N* et d'un indicateur à l'amidon. La détermination d'un témoin est essentielle. Si le brome est présent, ce dernier sera titré avec le chlore; ainsi il doit être déterminé séparément et soustrait au résultat. L'iode interfère également mais ce dernier n'est habituellement présent qu'à très faible teneur.

11.6 Identification du polluant dans le sol (analyse qualitative)

On utilise du papier indicateur imprégné d'amidon-iodure pour révéler la présence du chlore à des teneurs aussi faibles que 2 à 6 ppm. Le chlore réagit avec l'iodure de potassium en libérant de l'iode qui réagit à son tour avec l'amidon en développant la coloration bleue indicatrice. La sensibilité peut être améliorée à 0,25 à 12 ppm en couvrant le papier d'amidon-iodure avec de la glycérine et de l'acide sulfureux (Sittig, 1974).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE*

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, Virginia. (May, 1981).

APHA 1977: Katz, M. (ed.), Methods of Air Sampling and Analysis, Second Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., Method 201. (1977).

Ashland MSDS 1978: Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, Columbus, Ohio. (June, 1978).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D-1253. (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

AWWA 1976: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Method 409 A,B,C, Washington, D.C. (1976).

Bass 1977: Bass, M.L., Heath, A.G., "Toxicity of Intermittent Chlorination to Bluegill (Lepomis macrochirus): Interaction with Temperature", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 17, No. 4, pp. 416-423. (1977).

Bear 1964: Bear, F.E., Chemistry of the Soil, Second Edition, Reinhold Publishing Co. New York, New York, p. 478. (1964).

Bellanca 1977: Bellanca, M.A., Bailey, D.S., "Effects of Chlorinated Effluents on Aquatic Ecosystem in the Lower James River", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 49, No. 4, pp. 639-645. (April, 1977).

Braker 1977: Braker, W., Mossman, A.L., Effects of Exposure to Toxic Gases - First Aid and Medical Treatment, Second Edition, Lyndhurst, New Jersey. (1977).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Brungs 1973: Brungs, W., "Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 45, No. 10, p. 218. (October 1973).

Camper 1979: Camper, A.K., McFeters, G.A., "Chlorine Injury and the Enumeration of Waterborne Coliform Bacteria", Appl. Environ. Microbiol., Vol. 37, No. 3. pp. 633-641. (1979).

CAP 1961: Chlorine Institute Inc., Consumer Air Padding, New York, New York. (1961).

* Listes reproduites de l'édition anglaise

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

CCPA 1982: Canadian Chemical Producers' Association, Ottawa, Ontario, Private Communication. (1982).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

CE 1981: Chemical Engineering, p. 128. (5 October 1981).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C. CG-D-38-76. (August, 1975).

Chem. Eng. 1974: Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 12, pp. 70-78. (10 June 1974).

Chemical Week. (10 June 1981).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

CIL TSB: CIL Chemicals Division, Technical Service Bulletin, CIL Inc., Willowdale, Ontario. Not dated.

CM 1970: Chlorine Institute Inc., Chlorine Manual, New York, New York. (1970).

CM 1976: Chlorine Institute Inc., Chlorine Manual, Fourth Edition, The Chlorine Institute Inc., New York, New York. (1976).

Corpus 1983: Corpus Information Services Ltd., "Chlorine", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (15 June 1983).

Cotton 1972: Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience, New York. (1972).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

Dickson 1977: Dickson, K.L., Cairns, J., et al., "Effects of Intermittent Chlorination on Aquatic Organisms and Communities", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 49, No. 1, pp. 35-44. (January, 1977).

Dillon 1982: M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

Dinnel 1979: Dinnel, P.A., Stober, Q.T., DiJulio, D.H., "Behavioral Responses of Shiner Perch to Chlorinated Primary Sewage Effluent", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 22, pp. 708-714. (1979).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

Dow CH 1966: Dow Chemical Company, Dow Chlorine Handbook, Midland, Michigan. (1966).

Dow ERIS 1981: Dow Chemical Canada Inc., Emergency Response Information Sheet, Sarnia, Ontario. (June, 1981).

Dow MSDS 1979: Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Sarnia, Ontario. (23 October 1979).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

EAG 1978: U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T. Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1978).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

EPA R2-73-185: Friel, J.V., et al., Control of Hazardous Chemical Spills by Physical Barriers, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA R2-73-185. (March, 1973).

EPA 440/9-75-009: Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA-600/2-77-227. (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (April, 1980).

EPA 600/8-80-042E: Environmental Protection Agency, Treatability Manual, Volume V, Summary, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA 600/8-80-042E. (July, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Envrionmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

ESF 1965: Chlorine Institute Inc., Emergency Shutoff Facilities for Chlorine Tank Car Loading and Unloading Operations, New York, New York. (1965).

Fandrei 1979: Fandrei, G., Collins, H.L., "Total Residual Chlorine: The Effect of Short-term Exposure on the Emerald Shiner (Notropis atherinoides, Rafinesque)", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 23, No. 1-2, pp. 262-268. (1979).

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (July, 1979).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Goldman 1979: Goldman, J.C., Quinby, H.L., Capuzzo, J.M., "Chlorine Disappearance in Seawater", Water Research, Vol. 13, No. 3, pp. 315-324. (1979).

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Hall 1981: Hall, L.W. Jr., Burton, D.T., Liden, L.H., "An Interpretative Literature Analysis Evaluating the Effects of Power Plant Chlorination on Freshwater Organisms", CRC Critical Reviews in Toxicology. (April, 1981).

Hammond 1979: Hammond, B., Bishop, J., "The Physiological Evaluation of Ozone and Chlorine Toxicity on Channel Catfish (Ictalurus punctatus)", Fish. Mar. Serv. (Can.), Vol. 862, pp. 167-182. (1979).

Hammond and Bishop 1979: Hammond, B., Bishop, J., Maximum Utilization of Water Resources in a Planned Community. Chlorine and Ozone Toxicity Evaluation, Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 600/2-79-050e. (1979).

HCG 1981: Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1981).

Hedges 1979: Hedges, J.R., Morrissey, W.L., "Acute Chlorine Gas Exposure", J.A.C.E.P., Vol. 8, pp. 59-63. (February, 1979).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, p. 390. (1972).

HOC 1972: White, G.C., Handbook of Chlorination, New York, New York. (1972).

Hooker MSDS 1977: Hooker Chemicals and Plastics Corp., Material Safety Data Sheet, Niagara Falls, New York. (January, 1977).

Hooker PIM 1979: Hooker Chemicals and Plastics Corp., "Hooker Chlorine", Product Information Manual, North Vancouver, British Columbia. (June, 1979).

Howerton 1969: Howerton, A.E., "Estimated Area Affected by a Chlorine Release", The Chlorine Institute Member Information Report 71, The Chlorine Institute, Inc., New York, New York. (1969).

ILO 1980: International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

JHM 1977: Journal of Hazardous Materials, 2. pp. 51-75. (1977/78).

Jorgensen 1979: Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data & Ecological Parameters, Vol. 16, Pergamon Press, Oxford, England. (1979).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Kane 1979: Kane, L.E., Barrow, C.S., Alarie, Y., "A Short-term Test to Predict Acceptable Levels of Exposure to Airborne Sensing Irritants", American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 40, No. 3, p. 207. (1979).

Kaneko 1980: Kaneko, K., "Effects of Chlorine Residues on BOD Determination", Niigata Rikagaku, Vol. 6, pp. 28-30. (1980).

Kapoor 1957: Kapoor, R., Martin, J.J., "Thermodynamic Properties of Chlorine", Engineering Research Inst., University of Michigan, Michigan. (1957).

Lassus 1980: Lassus, P., Maggi, P., "Influence of Thermal Shock and Treatment with Chlorine on the Growth of Marine Phytoplankton Organisms: The Flagellate (Dunaliella tertiolecta)", Sci. Peche., No. 302, pp. 1-10. (1980).

LC: Canadian Industries Limited, Liquid Chlorine, Montreal, Quebec. Not dated.

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents -For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. (1980).

Linde 1981: Linde Specialty Gases, Union Carbide Canada Limited, Oakville, Ontario. (1971).

Maggi 1980: Maggi, P., Lassus, P., Abarnou, A., "Influence of Thermal Shock and Chlorine Treatment on the Growth of Marine Phytoplankton Organisms: The Diatom (Gyrosigma spencerii)", Sci. Peche., No. 301, pp. 1-16. (1980).

Matheson 1980: Braker, W., Mossman, A.L., Matheson Gas Data Book, Sixth Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1980).

MCA 1970: Manufacturing Chemists Association, Chlorine, Washington, D.C. (1970).

Meinhardt 1981: Meinhardt, D.P., "Chlorine", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 20. (15 October 1981).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

NIOSH 1976: National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Chlorine, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio, NIOSH 76-170. (1976).

NIOSH 1977: National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 1, P & CAM 209, Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

NIOSH Guide 1981: United States Department of Health and Human Services, NIOSH/OSHA Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, DHHS (NIOSH), Cininnati, Ohio, Publication No. 81-123. (1981).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

NSC 1979: National Safety Council, Data Sheet for Chlorine, Chicago, Illinois, 1-207-79. Revised. (1979).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

ORER 1982: The Official Railway Equipment Register, Interstate Commerce Commission and Canadian Transport Commission, R.E.R. Publishing Corp., New York, New York. (1982).

Osborne 1980: Osborne, L.L., Davies, R.W., Rasmussen, J.B., "Effect of Total Residual Chlorine on the Respiration Rates of Two Species of Freshwater Leech (Hirudinoidea)", Comp. Biochem. Physiol. Comp. Pharmacol., Vol. 67, No. 2, pp. 203-206. (1980).

PAE 1968: Chlorine Institute Inc., Piping and Equipment for Use with Dry Chlorine, New York, New York. (1968).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1973).

Personal Communication with EEB 1982: Personal Communication, Environmental Emergency Branch, Environment Canada, Ottawa, Canada. (8 July 1982).

Personal Communication with EPS 1983: Personal Communication, Environmental Protection Service, Vancouver. (1983).

Pigulevskaya 1980: Pigulevskaya, T.K., Pavlova, T.I., "Dependence of the Extent of Damage to Plants by Chlorine on the Gas Concentrations and Duration of Exposure", Gazoustoich. Rast., pp. 158-160. (1980).

Pimental 1971: Pimental, D., Ecological Effects of Pesticides on Non-target Species, Presidential Report, Office of Science and Technology, Washington, D.C. (June, 1971).

Roseboom 1977: Roseboom, D.P., Richey, D.L., Acute Toxicity of Residual Chlorine and Ammonia to Some Native Illinois Fishes, Illinois State Water Survey, Office of Water Research and Technology, Washington, D.C. (1977).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

RTECS 1977: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1977, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1978).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

RTDGR 1974: Regulations for the Transportation of Dangerous Goods by Rail, Canadian Transport Commission, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Sanders 1980: Sanders, J.G., Ryther, J.H., "Impact of Chlorine on the Species Composition of Marine Phytoplankton", Water Chlorination: Environ. Impact. Health Eff., Vol. 3, pp. 631-639. (1980).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Sax 1981: Sax, N.I., Cancer Causing Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1981).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Shreve 1977: Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1977).

Sittig 1974: Sittig, M., Pollution Detection and Monitoring Handbook, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, p. 137. (1974).

Stober 1978: Stober, Q.J., Dinnel, P.A., Hurlburt, D.H., et al., Effects of Seawater Chlorination on Marine Indicator Organisms, Technical Report UW-NRC-9, prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Comm., Fish. Res. Inst., Seattle, Washington. (1978).

Stober 1980: Stober, Q.J., Dinnel, P.A., Hurlburt, E.F., et al., "Acute Toxicity and Behavioral Responses of Coho Salmon (Oncorhynchus kisutch) and Shiner Perch (Cymatogaster aggregate) to Chlorine in Heated Seawater", Water Research, Vol. 14, No. 4, pp. 347-354. (1980).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1981).

TDB (on-line) 1982: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1982).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, Ohio. (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

USDHEW 1977: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) No. 77-181. (1977).

Verschueren 1977: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Videau 1979: Videau, C., Khalanski, M., Penot, M., "Preliminary Results Concerning Effects of Chlorine on Monospecific Marine Phytoplankton", J. Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 36, No. 2, pp. 111-124. (1979).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Wong 1980: Wong, G.T.F., "The Effects of Light on the Dissipation of Chlorine in Seawater", Water Research, Vol. 14, No. 9, pp. 1263-1268. (1980).

WQC 1963: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C. (1972).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, Ohio. (1983).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D-1253. (1979).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Method 409 A,B,C. Washington, D.C. (1976).

Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, Columbus, Ohio. (June, 1978).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bass, M.L., Heath, A.G., "Toxicity of Intermittent Chlorination to Bluegill (Lepomis macrochirus): Interaction with Temperature", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 17, No. 4, pp. 416-423. (1977).

Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, Virginia. (May, 1981).

Bear, F.E., Chemistry of the Soil, Second Edition, Reinhold Publishing Co., New York, New York, p. 478. (1964).

Bellanca, M.A., Bailey, D.S., "Effects of Chlorinated Effluents on Aquatic Ecosystem in the Lower James River", Water Pollution Control Federation, Vol. 49, No. 4, pp. 639-645. (April, 1977).

Braker, W., Mossman, A.L., Matheson Gas Data Book, Sixth Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1980).

Braker, W., Mossman, A.L., Effects of Exposure to Toxic Gases - First Aid and Medical Treatment, Second Edition, Lyndhurst, New Jersey. (1977).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Brungs, W., "Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 45, No. 10, p. 218. (October, 1973).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-contained Breathing Apparatus and Totally Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

Camper, A.K., McFeters, G.A., "Chlorine Injury and the Enumeration of Waterborne Coliform Bacteria", Appl. Environ. Microbiol., Vol. 37, No. 3. pp. 633-641. (1979).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

Canadian Chemical Producers' Association, Private Communication, Ottawa, Ontario. (1982).

Canadian Industries Limited, Liquid Chlorine, Montreal, Quebec. Not dated.

Chemical Engineering, p. 128. (5 October 1981).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Chemical Week. (15 June 1981).

Chlorine Institute Inc., Consumer Air Padding, New York, New York. (1961).

Chlorine Institute Inc., Chlorine Manual, New York, New York. (1970).

Chlorine Institute Inc., Chlorine Manual, Fourth Edition, The Chlorine Institute Inc., New York, New York. (1976).

Chlorine Institute Inc., Emergency Shutoff Facilities for Chlorine Tank Car Loading and Unloading Operations, New York, New York. (1965).

Chlorine Institute Inc., Piping and Equipment for Use with Dry Chlorine, New York, New York. (1968).

CIL Chemicals Division, Technical Service Bulletin, CIL Inc., Willowdale, Ontario. Not dated.

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Chlorine", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (15 June 1981).

Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience, New York. (1972).

Dickson, K.L., Cairns, J., et al., "Effects of Intermittent Chlorination on Aquatic Organisms and Communities", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 49, No. 1, pp. 35-44. (January, 1977).

M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

Dinnel, P.A., Stober, Q.T., DiJulio, D.H., "Behavioral Responses of Shiner Perch to Chlorinated Primary Sewage Effluent", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 22, pp. 708-714. (1979).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Dow Chemical Canada Inc., Emergency Response Information Sheet, Sarnia, Ontario. (June, 1981).

Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Sarnia, Ontario. (23 October 1979).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

Dow Chemical Company, Dow Chlorine Handbook, Midland, Michigan. (1966).

Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

Environmental Protection Agency, Treatability Manual, Volume V, Summary, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA 600/8-80-042E. (July, 1980).

Fandrei, G., Collins, H.L., "Total Residual Chlorine: The Effect of Short-term Exposure on the Emerald Shiner (Notropis atherinoides, Rafinesque)", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 23, No. 1-2, pp. 262-268. (1979).

Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Friel, J.V., et al., Control of Hazardous Chemical Spills by Physical Barriers, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA R2-73-185. (March, 1973).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (July, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Goldman, J.C., Quinby, H.L., Capuzzo, J.M., "Chlorine Disappearance in Seawater", Water Research, Vol. 13, No. 3, pp. 315-324. (1979).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Hall, L.W. Jr., Burton, D.T., Liden, L.H., "An Interpretative Literature Analysis Evaluating the Effects of Power Plant Chlorination on Freshwater Organisms", CRC Critical Reviews in Toxicology. (April, 1981).

Hammond, B., Bishop, J., Maximum Utilization of Water Resources in a Planned Community. Chlorine and Ozone Toxicity Evaluation, Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 600/2-79-050e. (1979).

Hammond, B., Bishop, J., "The Physiological Evaluation of Ozone and Chlorine Toxicity on Channel Catfish (Ictalurus punctatus)", Fish. Mar. Serv. (Can.), Vol. 862, pp. 167-182. (1979).

Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (April, 1980).

Hedges, J.R., Morrissey, W.L., "Acute Chlorine Gas Exposure", J.A.C.E.P., Vol. 8, pp. 59-63. (February, 1979).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, p. 390. (1972).

Hooker Chemicals and Plastics Corp., Material Safety Data Sheet, Niagara Falls, New York. (January, 1977).

Hooker Chemicals and Plastics Corp., "Hooker Chlorine", Product Information Manual, North Vancouver, British Columbia. (June, 1979).

Howerton, A.E., "Estimated Area Affected by a Chlorine Release", The Chlorine Institute Member Information Report 71, The Chlorine Institute, Inc., New York, New York. (1969).

Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA-600/2-77-227. (November, 1977).

International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Interstate Commerce Commission and Canadian Transport Commission, The Official Railway Equipment Register, R.E.R. Publishing Corp., New York, New York. (1982).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data & Ecological Parameters, Vol. 16, Pergamon Press, Oxford, England. (1979).

Journal of Hazardous Materials, Vol. 2 (1977/78), pp. 51-75 (1977).

Kane, L.E., Barrow, C.S., Alarie, Y., "A Short-term Test to Predict Acceptable Levels of Exposure to Airborne Sensing Irritants", American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 40, No. 3, p. 207. (1979).

Kaneko, K., "Effects of Chlorine Residues on BOD Determination", Niigata Rikagaku, Vol. 6, pp. 28-30. (1980).

Kapoor, R., Martin, J.J., "Thermodynamic Properties of Chlorine", Engineering Research Inst., University of Michigan, Michigan. (1957).

Katz, M. (ed.), Methods of Air Sampling and Analysis, Second Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., Method 201. (1977).

Lassus, P., Maggi, P., "Influence of Thermal Shock and Treatment with Chlorine on the Growth of Marine Phytoplankton Organisms: The Flagellate (Dunaliella tertiolecta)", Sci. Peche., No. 302, pp. 1-10. (1980).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. (1980).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1977, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1978).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

Maggi, P., Lassus, P., Abarnou, A., "Influence of Thermal Shock and Chlorine Treatment on the Growth of Marine Phytoplankton Organisms: The Diatom (Gyrosigma spencerii)", Sci. Peche., No. 301, pp. 1-16. (1980).

Manufacturing Chemists Association, Chlorine, Washington, D.C. (1970).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

Meinhardt, D.P., "Chlorine", Chemical Engineering, Vol. 88, No. 20. (15 October 1981).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C. (1972).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Chlorine, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio, NIOSH 76-170. (1976).

National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 1, P & CAM 209, Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

National Safety Council, Data Sheet for Chlorine, Chicago, Illinois, 1-207-79. Revised. (1979).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Osborne, L.L., Davies, R.W., Rasmussen, J.B., "Effect of Total Residual Chlorine on the Respiration Rates of Two Species of Freshwater Leech (Hirudinoidea)", Comp. Biochem. Physiol. Comp. Pharmacol., Vol. 67, No. 2, pp. 203-206. (1980).

Perry, R.H., Chilton C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1973).

Personal Communication, Environmental Emergency Branch, Environment Canada, Ottawa, Canada. (8 July 1982).

Personal Communication, Environmental Protection Service, Vancouver, B.C. (1983).

Pigulevskaya, T.K., Pavlova, T.I., "Dependence of the Extent of Damage to Plants by Chlorine on the Gas Concentrations and Duration of Exposure", Gazoustoich. Rast., pp. 158-160. (1980).

Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

Pimental, D., Ecological Effects of Pesticides on Non-target Species, Presidential Report, Office of Science and Technology, Washington, D.C. (June, 1971).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Roseboom, D.P., Richey, D.L., Acute Toxicity of Residual Chlorine and Ammonia to Some Native Illinois Fishes, Illinois State Water Survey, Office of Water Research and Technology, Washington, D.C. (1977).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

Sanders, J.G., Ryther, J.H., "Impact of Chlorine on the Species Composition of Marine Phytoplankton", Water Chlorination: Environ. Impact. Health Eff., Vol. 3, pp. 631-639. (1980).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Sax, N.I., Cancer Causing Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1981).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1977).

Sittig, M., Pollution Detection and Monitoring Handbook, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, p. 137. (1974).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Stober, Q.J., Dinnel, P.A., Hurlburt, D.H., et al., Effects of Seawater Chlorination on Marine Indicator Organisms, Technical Report UW-NRC-9, prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Comm. Fish. Res. Inst., Seattle, Washington. (1978).

Stober, Q.J., Dinnel, P.A., Hurlburt, E.F., et al., "Acute Toxicity and Behavioral Responses of Coho Salmon (Oncorhynchus kisutch) and Shiner Perch (Cymatogaster aggregate) to Chlorine in Heated Sea water", Water Research, Vol. 14, No. 4, pp. 347-354. (1980).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1981).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1982).

Union Carbide Canada Limited, Linde Specialty Gases, Oakville, Ontario. (1971).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) No. 77-181. (1977).

U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T. Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Videau, C., Khalanski, M., Penot, M., "Preliminary Results Concerning Effects of Chlorine on Monospecific Marine Phytoplankton", Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 36, No. 2, pp. 111-124. (1979).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

White, G.C., Handbook of Chlorination, New York, New York. (1972).

Wong, G.T.F., "The Effects of Light on the Dissipation of Chlorine in Seawater", Water Research, Vol. 14, No. 9, pp. 1263-1268. (1980).

Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties" Chemical Engineering, Vol. 81, No. 12, pp. 70-78. (10 June 1974).